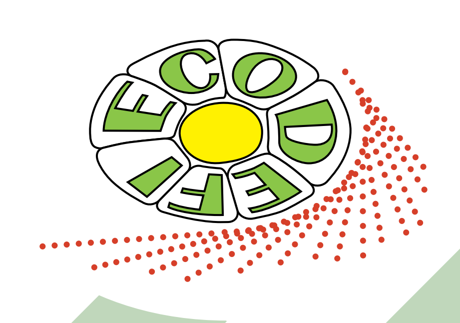


ECODEFI

Guide d'éco-conception des matériels d'épandage





ECODEFI ECOconception et Développement de méthodologies de Fabrication Innovante de machines d'épandage

Avril 2011























PRISME


Remerciements

Ce guide d'éco-conception a été élaboré dans le cadre du projet ANR « ECODEFI » (ECOconception et DEveloppement de méthodologies de Fabrication Innovantes de machines d’épandage)

Il est le résultat d’un travail de collaboration entre l'ensemble des partenaires du projet :

- Syndicat des fabricants de matériels agricoles (AXEMA)
- Cemagref
- Cetim et la commission professionnelle machinisme MAGR
- Chambre d'Agriculture de Bretagne / Station Agromachinisme des Cormiers
- Institut Technique de la Betterave
- SERAM – Art et Métiers de Chambéry
- Université d'Orléans (Laboratoire prism, de Mécanique et Energétique)
- CIRAD
- Université Blaise Pascal (Laboratoire de Mécanique et Ingéniéries)
- FNCUMA (Fédération Nationale des Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole)
- Entreprise PICHON
- Entreprise SIRTEC
- Entreprise FRA

Avertissement au lecteur

La méthode d'Eco-conception proposée dans la première partie de ce guide a été élaborée à partir des connaissances et des outils développées dans le cadre du projet ECODEFI et disponibles au moment de la rédaction.

Tous ces aspects méthodologiques sont nouveaux (Indicateurs de Services Rendus", évaluation des émissions azotées …) et doivent faire l'objet de travaux complémentaires pour pouvoir être validés car ils n'ont pour l'instant été testés que sur 3 machines d'épandage et reposent en partie sur des approches empiriques valables pour l'épandage des boues.

Figure 1 : Dans ECODEFI, la méthodologie d'éco-conception a été appliquée à trois types de machines d'épandage







A ce stade, la mise en œuvre des outils nécessite encore un accompagnement de la part des experts ayant contribué au développement (et dont les coordonnées figurent en première partie du guide) :

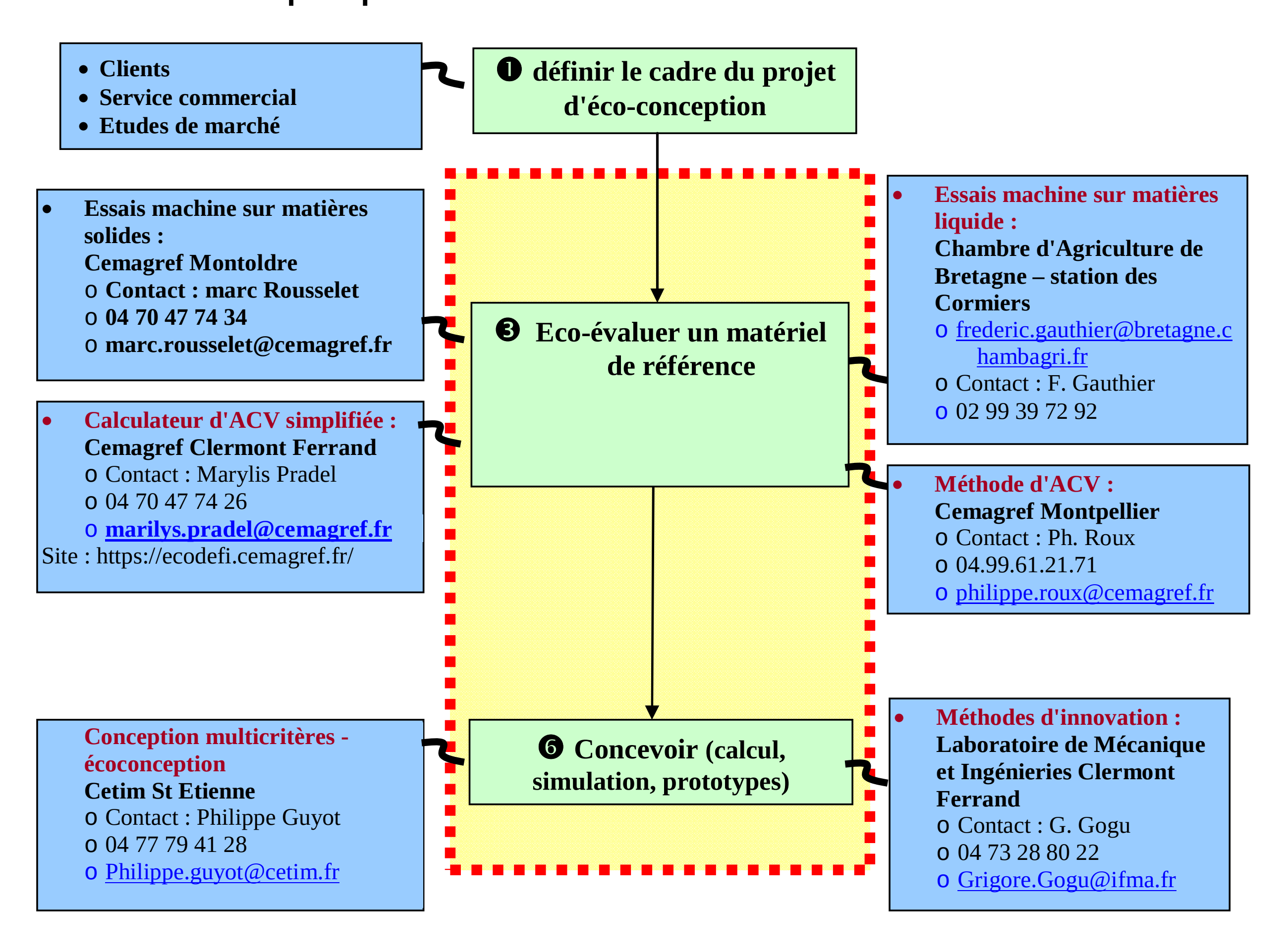
- Pour la réalisation des essais
- Pour l'interprétation des indicateurs et la hiérarchisation des impacts

Seul l'usage de ces outils dans plusieurs projets permettra de capitaliser les connaissances suffisantes pour permettre une mise en application autonome de la part des BE des constructeurs.

POUR AVOIR ACCES AUX DOCUMENTS WORD et EXCEL UTILES POUR COMPLETER UNE DEMARCHE OPERATIONNELLE D'ECO-CONCEPTION:

Adresse du site web où récupérer les documents : https://ecodefi.cemagref.fr/resultats-et-publications/delivrables sous rubrique "Guide d'Eco-conception"

Besoin d'aide plus personnalisée:



Une méthode d'éco-conception des matériels d’épandage

La problématique :

La qualité environnementale des machines d'épandage est étroitement liée au devenir du produit épandu et à ses émissions potentielles. Les améliorations technologiques permettant de diminuer les pertes d'éléments fertilisants et de favoriser leur assimilation par les plantes ont un réel impact sur le bilan environnemental de l'épandage.

Notre objectif :

Le guide d'éco-conception des machines d'épandage a été rédigé pour accompagner les bureaux d'étude de constructeurs de matériels d'épandages dans une démarche d'amélioration de la qualité environnementale de leurs produits.

Le contexte :

Ce guide est le résultat des travaux de recherche du projet Ecodéfi[1] menés dans le cadre du programme "PRECODD[2]" de l'ANR[3]. Ce projet vise à répondre à deux enjeux majeurs :

Le recyclage des effluents organiques :

Le recyclage des effluents organiques issus de l'industrie de l'épuration des eaux représente 11 millions de tonnes de liquides chargés, boues, composts, granulés qui doivent pouvoir continuer à apparaître en positif dans le bilan environnemental de la filière, grâce à la valorisation agricole.

Les technologies réputées sales :

Les technologies réputées "sales" disposent de marges d'amélioration de leurs performances environnementales permettant de réduire à la source les risques de pollution des agro-écosystèmes.

Les études menées dans ce cadre ont ciblé l'épandage de boues de station d'épuration, ce qui concerne donc l'ensemble des différents types de matériels d'épandages en usage : épandeurs de produits liquides, pâteux, solides et granulés. En effet les boues épandues en agriculture peuvent se présenter sous toutes ces diverses configurations.

---

[1] **ECO**conception et **Dé**veloppement de méthodologies de **F**abrication **I**nnovante de machines d'épandage

[2] **PR**ogramme de Recherche sur les **ECO**technologies et le **D**éveloppement **D**urable

[3] **A**gence **N**ationale de la **R**echerche

Notre originalité : faire le lien entre performance technique, performance environnementale et besoin des utilisateurs.

Définir un cadre pour le projet d'éco-conception

L'approche fonctionnelle a cela d'intéressant qu'elle ne préjuge pas des solutions techniques à mettre en œuvre pour satisfaire un besoin, comme par exemple "épandre une matière dans un champ". Cela permet de n'exclure aucune idée novatrice. Ainsi, la première étape de la méthode d'éco-conception proposée s'inspire de l'analyse fonctionnelle pour laisser la possibilité aux concepteurs d'envisager des évolutions éventuelles basées sur des principes de fonctionnement qui seraient nettement différents de ceux des fabrications actuelles. C'est notamment pour cette raison que le guide utilisera de préférence à "épandeurs" l'appellation plus générique de "matériel d'épandage".

La création d'indicateurs de service rendu :

L'appréciation de la qualité du travail réalisé se fait au travers "d'indicateurs de service rendu". Par contre la réalisation de tests d'évaluation des machines requiert certaines hypothèses sur les fonctions techniques développées. Par exemple la répartition du produit épandu est aujourd'hui jugée comme la combinaison d'une répartition longitudinale et d'une répartition transversale. Ceci est cohérent avec les matériels d'épandages utilisés actuellement et a permis de développer des installations et des protocoles de tests visant à établir des "indicateurs technologiques". Au final, les indicateurs de services rendus sont obtenus par le calcul d'une moyenne pondérée des indicateurs technologiques établie à dire d'expert.

Les limites de notre étude :

L'évaluation de la volatilisation ammoniacale

Les matériels concernés sont aussi largement utilisés pour l'épandage des effluents d'élevage bruts ou compostés. On pourra donc, en partie, reprendre le raisonnement présenté ici pour l'éco-conception de matériels d'épandages de lisier ou de fumier. Il faut noter dans ce cas que l'évaluation des émissions résultant de l'épandage (dans la version actuelle du guide) ne sera plus adaptée. Par exemple, la quantité d'azote ammoniacal présente dans les lisiers étant nettement plus forte que dans les boues de station d'épuration, le poids environnemental de la volatilisation ammoniacale est, donc, plus important que celui présenté dans le guide.

Les charges environnementales associées.

Dans l'approche présentée dans ce guide, les charges environnementales associées à la fabrication des produits épandus ne sont pas prises en compte. Par exemple, l'énergie requise pour sécher une boue ne sera pas considérée. L'analyse environnementale demande la définition d'un périmètre d'études qui a été fixé pour notre cas à l'ensemble des opérations se déroulant depuis le stockage de la boue jusqu'à son épandage. La comparaison de plusieurs filières d'élimination des boues ne peut donc se concevoir dans le système choisi qui a essentiellement pour objectif de diagnostiquer la qualité environnementale de la machine d'épandage.

Le non respect de la réglementation

De même, il est supposé que l'épandage est effectué en accord avec la réglementation en vigueur et les règles de bonnes pratiques agronomiques visant à équilibrer le besoin des

plantes avec les apports en éléments fertilisants. L'épandage de boues de station d'épuration dont les teneurs en éléments trace métalliques ou composés trace organiques dépasseraient les seuils autorisés est en particulier exclu.

Organisation du guide

Le guide comprend 4 parties organisées de la manière suivante :

- **La première partie** présente la méthode et les outils à utiliser pour l'éco-conception d'un matériel d'épandage. C'est le fil conducteur à suivre par les concepteurs et autres membres du groupe participant à un projet de conception.

  Cette méthode a été testée sur trois exemples de matériels.

- « Faire » de l'éco-conception, comme n'importe quelle nouvelle démarche, nécessite de la part du groupe projet de s'approprier un certain nombre de notions élémentaires. L'objectif de **La deuxième partie** du guide est de présenter ces notions élémentaires appliquées aux matériels d'épandage. Le lecteur devra s'y référer pour bien comprendre les enjeux d'une telle démarche

- Certains outils et données sont requis pour mettre en œuvre la méthode d'éco-conception. Ils sont regroupés dans **la troisième partie** du guide.

- **la quatrième partie** du guide regroupe dans des annexes, des informations qui permettent de mieux comprendre et d'approfondir un certain nombre de notions utilisées dans la méthode d'éco-conception. Pour alléger la présentation, toutes les annexes ne sont pas présentes dans la version papier du guide.

Table des matières

1

Méthode d'éco-conception des matériels d'épandage

1.1 PRESENTATION GENERALE

1.1.1 Les étapes de la méthode d'éco-conception

La méthode d'éco-conception proposée dans ce guide s'appuie sur les 7 étapes suivantes qui s'intègrent dans le processus de conception (voir figure 2) :

- Définir le cadre du projet d'éco-conception
- Eco-évaluer un matériel de référence
- Hiérarchiser et sélectionner les indicateurs de service rendu (ISR) à améliorer
- Chercher des solutions innovantes - Appliquer des principes d'éco-conception
- Suivre les indicateurs de service rendu
- Eco-évaluer le matériel reconçu
- Faire un bilan - déclarer les performances

Les actions proposées à chacune de ces étapes ont pour but d'apporter à l'entreprise et au concepteur une vision de son produit élargie à la dimension environnementale. Cette nouvelle vision doit le conduire à adapter ou réorienter ses choix de conception vers les meilleures solutions disponibles, voire vers de nouveaux concepts novateurs.

Remarque :

Les analyses environnementales réalisées dans le cadre du projet ECODEFI ont montré sans ambigüité que c'était la phase d'utilisation d'un matériel d'épandage qui générait l'essentiel de son impact environnemental (comparé aux autres étapes du cycle de vie).

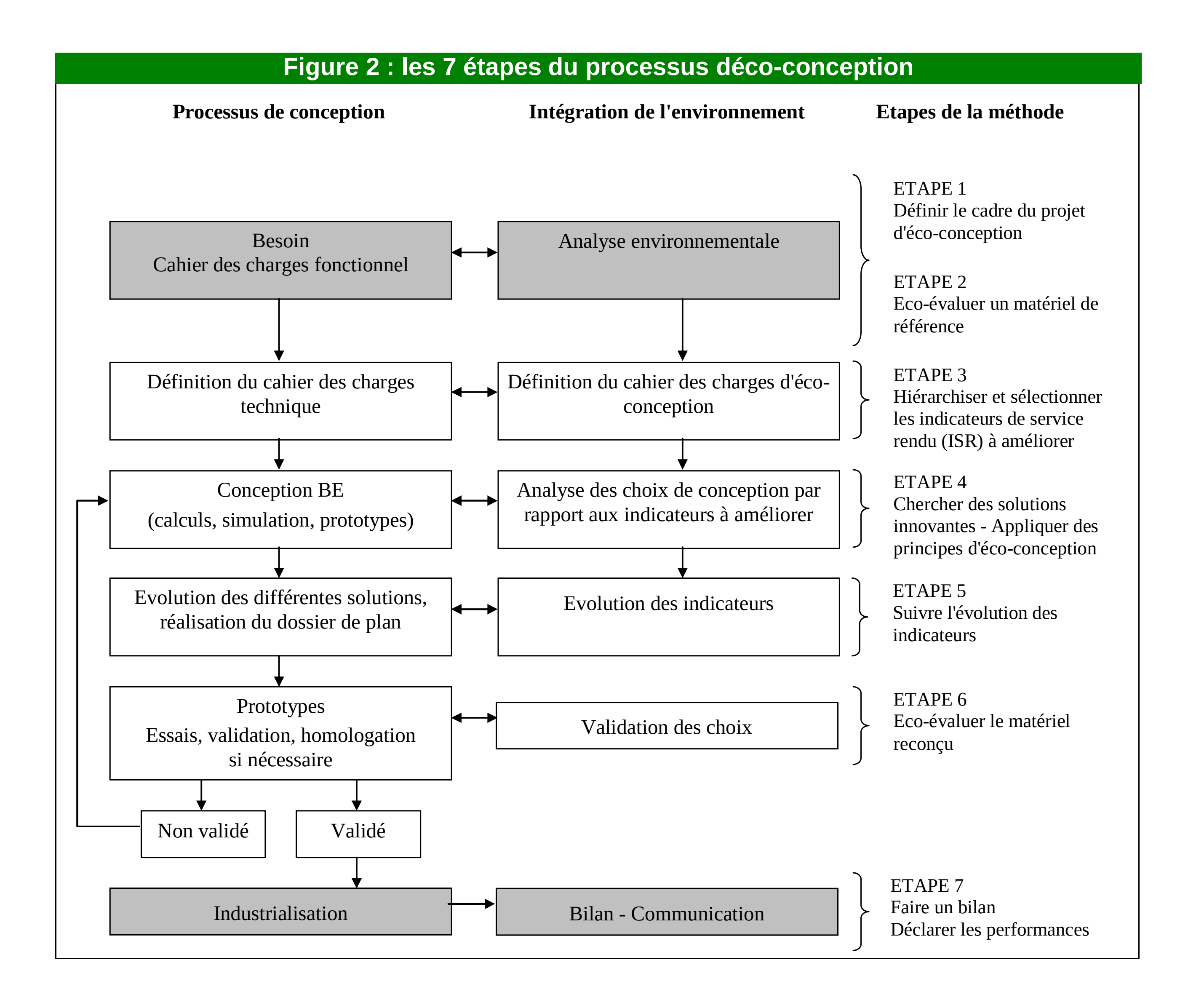
C'est donc sur la phase d'utilisation que se portent l'essentiel des recommandations de ce guide.

La démarche proposée, aboutit à la réalisation d'une machine "éco-conçue" selon des critères prédéterminés et sur lequel un format de communication est proposé dans ce guide.

Si vous recherchez des arguments pour motiver la mise en œuvre de démarches d'éco-conception, vous pouvez vous reporter à la deuxième partie de ce guide.

Remarque : cette méthode est compatible avec celle de la norme NF E 01 005 (produits mécaniques – méthodologie d'éco-conception)

Figure 2 : les 7 étapes du processus déco-conception



1.1.2 Les modèles et outils d'ECODEFI pour chaque étape de la méthode

Les outils à utiliser et modèles à renseigner suivants ont été développés dans le cadre du projet ECODEFI pour aider à la mise en œuvre de chaque étape de la méthode (voir figure 3) :

ETAPE 1 : Définir le cadre du projet

Modèles à renseigner ?	
Modèle n°1	- Note de cadrage
Modèle n°2	- Grilles de définition des conditions d'utilisation du matériel d'épandage
Modèle n°3	- Liste de synthèse des objectifs technico-économiques du projet

Outils et données à utiliser ?	
Outil n°1	- Tableau de composition des matières à épandre

ETAPE 2 : Eco-évaluer un matériel de référence

Modèles à renseigner ?	
Modèle n°4	- Tableau de cotation des indicateurs technologiques Fichiers Excel associés selon le type d'épandeur : • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeur avec enfouisseur de liquides • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeur en ligne de liquides • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeurs en nappe de liquides • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeurs en nappe de solides
Modèle n°5	- Fiche de Synthèse du calcul des impacts pour un scénario de référence

ETAPE 3 : Hiérarchiser et sélectionner les Indicateurs de Service Rendu à améliorer

Modèles à renseigner ?	
Modèle n°6	- Cahier des charge d'éco-conception

Outils et données à utiliser ?	
Outil n°2	- Les grilles de hiérarchisation des indicateurs technologiques
Autre outil	- **Logiciel : le calculateur d'ACV simplifiée (contacter le Cemagref)**

ETAPE 4 : Chercher des solutions innovantes, appliquer des principes d'éco-conception

ETAPE 5 : Suivre l'évolution des indicateurs

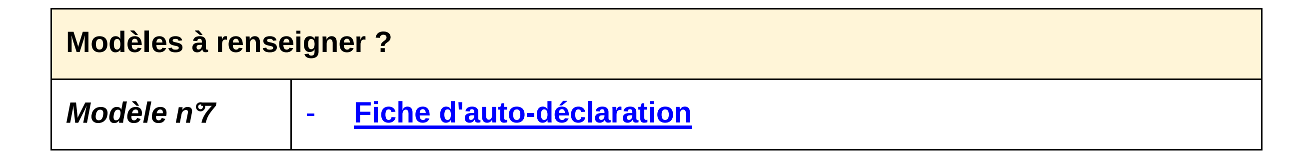
Outils et données à utiliser ?	
Outil n°3	- Base de donnée d'impact environnementaux matériaux et process
Outil n°4	- Compatibilité des aciers au recyclage
Outil n°5	- Compatibilité des matières plastiques au recyclage
Outil n°6	- Efficacité du recyclage selon les matériaux assemblés
Outil n°7	- Grille d'aide au choix d'un mode d'assemblage

Les choix de solutions à mettre en œuvre doivent être guidés par leur influence sur les indicateurs technologiques et de services rendus

ETAPE 6 : Eco-évaluer un matériel reconçu

Voir Etape 2

ETAPE 7 : Faire un bilan, déclarer les performances



Modèles à renseigner ?	
Modèle n°7	- Fiche d'auto-déclaration

Figure 3 : Des outils pour guider à chaque étape du processus de conception

Note de cadrage
- **Nom du projet :** xxx007
- **Description**
- **Type de projet …**

Grilles de définition des conditions d'utilisation du matériel d'épandage

Liste de synthèse des objectifs technico-économiques du projet
- **Objectifs de prix de la machine**
- **Type de technologie**
- **Attentes utilisateurs**

Grilles d'aide à la hiérarchisation des Indicateurs de service rendu

Cahier des charges d'Eco-conception

IT - ISR – impact à améliorer	Objectif

Début du projet d'éco-conception

❶ Définir le cadre du projet d'éco-conception

❷ Eco-évaluer un matériel de référence
- **Evaluation des ISR**
- **Calcul d'impacts**

❸ Hiérarchiser et sélectionner les indicateurs de service rendu (**ISR**) à améliorer

❹ Chercher des solutions innovantes, appliquer des principes d'éco-conception

❺ Suivre les indicateurs de service rendu

❻ Eco-évaluer le matériel reconçu

❼ Faire un bilan - Déclarer les performances

Fin du projet d'éco-conception

Indicateurs de performance évalués à partir d'essais :
- Indicateurs Technologiques
- Indicateurs de Service Rendus

Calculateur d'ACV simplifiée

Règles de bonnes pratiques pour le choix des matériaux
-bases de données d'impacts
-table de compatibilité des aciers
-table de compatibilité des plastiques

Règles de bonnes pratiques pour le choix des assemblages
- description filières de fin de vie
- grille d'évaluation des assemblages
- grille d'aide au choix des assemblages

Indicateurs de performance évalués à partir d'essais :
- Indicateurs Technologiques
- Indicateurs de Service Rendus

Calculateur d'ACV simplifiée

Modèle de fiche d'Auto-déclaration

Les étapes de la méthode

Les outils proposés par ECODEFI et présentés dans la suite de ce guide

1.1.3 Les annexes d'ECODEFI pour chaque étape de la méthode

ETAPE 1 : Définir le cadre du projet

Annexes informatives à utiliser ?	
Annexe 1	• Période et sensibilité des sols au tassement

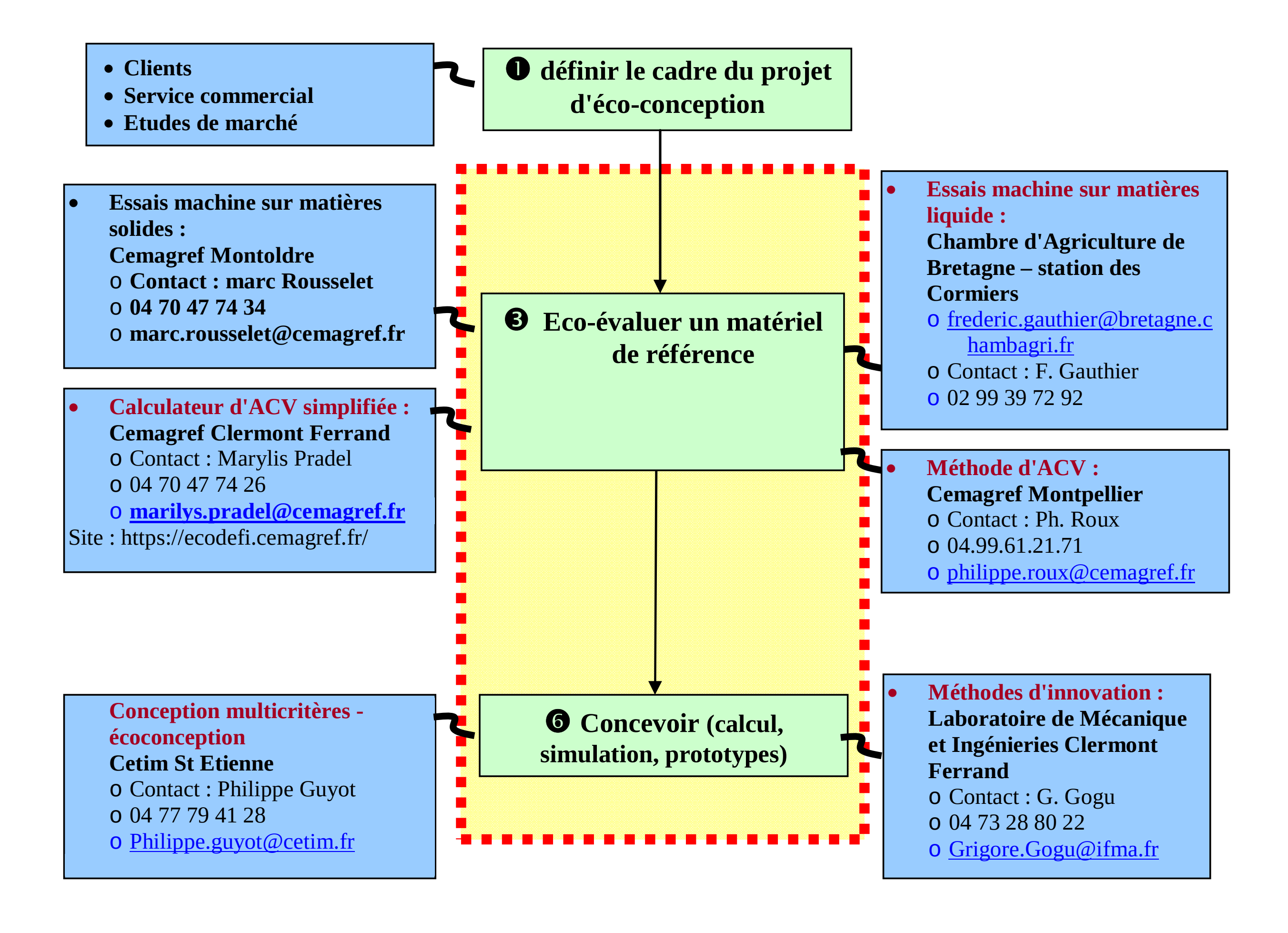
ETAPE 2 : Eco-évaluer un matériel de référence

Annexes informatives à utiliser ?	
Annexe 2	• Description des indicateurs de service rendu et des indicateurs technologiques
Annexe 3	• Principe de calcul des indicateurs de service rendu
Annexe 4	• Description du simulateur d'épandage
Annexe 5	• Description des risques liés à l'épandage et des impacts environnementaux associés

ETAPE 3 : Hiérarchiser et sélectionner les ISR à améliorer

Annexes informatives à utiliser ?	
Annexe 6	• Information concernant le Règlement REACH
Annexe 7	• Scénarios de fin de vie des matériels agricoles

1.1.4 Les acteurs pour aider à chacune des étapes



1.1.5 Cas particulier : projet arrivant en phase de validation de la conception

Nous proposons une approche préliminaire qui permet d'aborder la méthode de manière progressive à partir d'un projet arrivant en phase finale de conception.

Le principe est d'éco-évaluer la machine d'épandage nouvellement reconçue au moyen des Indicateurs de Service Rendu développés dans le cadre du projet ECODEFI. En faisant cette éco-évaluation, le BE qui a conçu la machine va avoir l'occasion de :

- Découvrir de nouveaux critères pour mesurer les performances environnementales de ses machines d'épandage
- Identifier les points forts et les points faibles de sa nouvelle machine par rapport à une machine de référence
- Envisager de nouveaux concepts pour des futurs projets d'éco-conception

Pour faire cette évaluation, le lecteur peut se reporter directement à l'Etape 6 de ce guide, telle que présentée dans la Figure 4 (les 7 étapes du processus déco-conception).

1.2 ETAPE 1 : DEFINIR LE CADRE D'UN PROJET D'ECO-CONCEPTION

1.2.1 Principes

Un produit éco-conçu est avant tout un produit qui répond au mieux aux besoins de l'utilisateur.

Il s'agit donc de définir le besoin de la manière la plus précise possible en s'attachant à raisonner en termes de fonctions attendues plutôt qu'en termes de solutions techniques.

Il s'agit également d'identifier les moyens techniques et économiques dont l'entreprise dispose pour concevoir un produit qui réponde à ces fonctions.

C'est généralement le cahier des charges fonctionnel qui rassemble tous ces éléments.

Les outils proposés à cette étape sont des questionnaires élaborés à partir de l'analyse fonctionnelle d'un système d'épandage. Ils ne se substituent pas à ceux déjà utilisés par l'entreprise, mais doivent être perçus comme un complément qui doit aider le groupe projet à se poser les bonnes questions de manière à énoncer le besoin sous forme fonctionnelle.

Extraits de NF X 50-151 (le cahier des charges fonctionnel)

- « Le cahier des charges fonctionnel est un outil méthodologique pour détecter et formuler le besoin et justifier en aval des exigences techniques contenues dans un marché ou un contrat d'études … »
- « L'énoncé du besoin sous une forme fonctionnelle, c'est-à-dire en termes de finalité, sans référence aux solutions techniques susceptibles d'y répondre, préserve toutes les chances d'émergence de l'innovation au moment de sa conception … »

1.2.2 Mode opératoire

Quoi ?	Définir le cadre du projet
Quand ?	Avant le lancement du projet
Qui ?	Le groupe projet
Comment ?	**Renseigner les modèles n°1, 2 et 3 définis ci-dessous :** - **Modèle 1 :** **Note de cadrage** pour identifier les objectifs du projet - **Modèle 2 :** **Grilles de définition des conditions d'utilisation du matériel d'épandage** pour bien cerner les limites d'usage de la machine, à la fois en termes de fonctionnalités et de conditions pédoclimatiques. 5 grilles sont à renseigner : - La grille de définition des fonctions attendues selon la nature des matières pouvant être épandues - La grille des infrastructures à prendre en compte pour chaque fonction intégrée au périmètre de conception du matériel - La grille de caractérisation des matières à épandre Pour vous aider à identifier les caractéristiques des matières à épandre, vous pouvez vous aider *de **l'outil n°1*** : **Tableau de composition des matières à épandre** - La grille de caractérisation des facteurs de risques en fonction des sols, de la période d'épandage et de la teneur en azote des matières à épandre - La grille de caractérisation des facteurs de risques en fonction du type de sols et de la topographie Pour un complément d'informations sur les risques liés au tassement des sols, vous pouvez consulter ***l'annexe 1*** du guide : **Période et sensibilité des sols au tassement** - La grille de caractérisation des facteurs de risques d'épandage en présence de vent - **Modèle 3 :** **Liste de synthèse des objectifs technico-économiques du projet** pour mettre en cohérence les budgets disponibles avec les ambitions techniques du projet

Commentaires particuliers ?	• Pour répondre correctement aux questions posées dans les 3 modèles proposés, il faut considérer systématiquement l'ensemble du système d'épandage (par exemple : machine + tracteur), puisque la finalité de l'éco-conception est d'améliorer la performance environnementale globale. Cela est particulièrement important lorsque votre projet de conception ne porte que sur une partie de matériel d'épandage. • Si votre projet de conception ne porte que sur une partie de matériel d'épandage, vous pourrez ignorer certaines questions et ne répondre qu'aux questions qui sont les plus susceptibles d'influencer les choix de conception. • Penser à répondre sans "à priori" et à raisonner en termes d'objectifs à atteindre ou de besoin à satisfaire plutôt qu'en termes de solutions techniques

1.2.3 La Note de cadrage du projet

Savoir se référer à l'existant :

Un point important au lancement d'un projet est de définir le niveau prévu de remise en cause des habitudes de conception :

- s'agit-il d'adapter une machine existante à un besoin spécifique ou une contrainte nouvelle (re-conception) – ce qui limite les degrés de liberté de conception à quelques fonctions de la machine (et donc également le potentiel d'amélioration environnemental) ?

- s'agit-il de concevoir une nouvelle machine en intégrant les contraintes environnementales au même titre que les attentes clients dès l'analyse fonctionnelle du besoin ?

Dans les deux cas, s'agissant d'éco-conception, nous aurons besoin de nous référer à des machines existantes pour nous aider à caractériser les objectifs de performances environnementales à atteindre.

Définir les objectifs :

Un deuxième point important est de faire la liste des concepts ou des problématiques techniques que le projet se propose de traiter, si tant est que ces pistes d'améliorations aient déjà été identifiées par le groupe projet. Les étapes suivantes permettront de décider dans quelles mesures ces problématiques sont compatibles ou non avec la démarche d'éco-conception et s'il est pertinent de les maintenir.

Si à ce stade, le groupe projet n'a pas encore identifié de piste d'amélioration, les étapes suivantes lui permettront d'affiner les améliorations à entreprendre dans le cadre d'un projet d'éco-conception.

Note de cadrage du projet :

☒	Nom du projet :		
☒	Date de lancement :		
☒	Durée :		
☒	Chef de projet :		
☒	Type de projet : *(Préciser ici le niveau de remise en cause de la conception. Celui-ci a des conséquences sur le potentiel d'innovation du projet.* *Dans tous les cas, il est important de se fixer une machine de référence pour fixer des objectifs à atteindre)*	☐	Projet d'amélioration d'une machine existante. Donner la référence de la machine existante :
		☐	Projet de conception d'une nouvelle machine. Proposer une machine qui tiendra lieu de référence :
☒	Type de motricité *(Préciser ici le système d'épandage complet en fixant une référence au niveau du mode de déplacement.*		❒ Automotrice ❒ Tractée (*Définir ici les caractéristiques principales du tracteur*) : ❒ Portée : (*Définir ici les caractéristiques principales du porteur*) : ❒ Autre (préciser) : ❒ Non définie à ce stade du projet
☒	Description synthétique des objectifs du projet :	*Décrire ici en quelques phrases les raisons pour lesquelles le projet est lancé. Il peut s'agir d'un objectif d'éco-conception, d'une évolution réglementaire, d'une évolution technologique ou d'une amélioration technique, d'une évolution des attentes du marché identifiée …*	
☒	Liste des exigences spécifiques ou des concepts innovants à prendre en compte dans le projet : *(En fonction du type de projet, une ou plusieurs pistes de solutions ont peut-être déjà été envisagées. Ces pistes seront examinées à l'étape 3 sous un angle environnemental. Elles pourront alors être confirmées, maintenues sous conditions ou invalidées selon qu'elles aggravent ou qu'elles réduisent l'impact environnemental.*	☐ Piste 1 : *Décrire ici en quelques phrases les pistes de solutions ou les concepts envisagés dans le cadre du projet*	
		☐ Piste 2 : *ajouter autant de pistes que nécessaire*	
		☐ Piste 3 : …	

Remarque générale sur le choix de la "motricité" et sur l'innovation

Les spécifications sur la "motricité" de la machine à concevoir ont des conséquences significatives sur ses impacts futurs, notamment en termes de consommation d'énergie et de tassement des sols (poids des transmissions par rapport au poids de la machine …).

De nombreuses voies peuvent être explorées si on souhaite innover à condition de ne pas limiter le cadre de réflexion aux solutions habituellement proposées et d'essayer de raisonner en termes d'objectifs à atteindre.

Exemple d'objectifs réalisés dans le secteur ferroviaire :

Les gains obtenus en 30 ans sur les TGV comportent des similitudes avec ce qui pourrait être recherché pour les matériels d'épandage.

Objectif : Respecter la contrainte de 17t/essieu

1980: =>1,1 t/siège, 2010 =>0,75t/siège=>capacité accrue de 47% à poids total en charge équivalent

Objectif : Avoir la plus grande productivité possible (km/h)

1980 =>260 km/h, 2010 =>350km/h

Objectif : **Avoir la plus grande efficience énergétique possible**

réduction de la consommation de 25%, ramenée au passager transporté.

Exemple du lisier

Le matériel d'épandage peut faire l'objet d'optimisation. Mais il n'est pas le seul. La machine peut être tractée, automotrice, voire autonome. Chaque phase du chantier est à considérer en fonction de l'efficience énergétique attendue.

Illustration de quelques réponses techniques possibles à chaque étape d'un chantier d'épandage (c'est la contribution du matériel à l'efficacité énergétique globale du chantier qui doit être considérée)



1.2.4 Les grilles de définition des conditions d'utilisation du matériel d'épandage

Un matériel d'épandage donné est conçu pour réaliser un certain nombre de fonctions et pour fonctionner de manière optimale dans des conditions d'utilisation précises.

Dans un scénario d'épandage, il peut se produire :

- que certaines fonctions ne puissent pas être réalisées par le matériel (par exemple : la fonction "préparer la matière à épandre en stockage initial", qui vise à ce que le mélange chargé soit bien homogène d'un point de vue de sa composition chimique peut ne pas être prévue, auquel cas, les caractéristiques de la matière chargée peuvent être différentes de celles dans le stockage)
- que certaines fonctions soient réalisables mais dans des conditions dégradées (par exemple : épandre dans des conditions de vent fort)

Certains matériels pourront être plus polyvalents que d'autres par rapport à un critère particulier (par exemple la nature de la matière à épandre) mais la polyvalence ne doit pas se faire au détriment de l'impact environnemental.

C'est pourquoi, si l'on souhaite afficher des performances environnementales d'un matériel d'épandage, il est essentiel de bien spécifier les conditions d'utilisations dans lesquelles ces performances restent valables.

Du point de vue de l'impact environnemental, les critères suivants sont importants à prendre en compte pour définir correctement un périmètre d'utilisation pour un matériel d'épandage :

- La liste des fonctions réalisées par le matériel d'épandage et les conditions précises nécessaires à cette réalisation (environnement et équipements à prévoir en plus pour un bon fonctionnement)
- Les caractéristiques physico-chimiques des matières à épandre
- L'aptitude à un épandage extrême :
  - Précoce ou tardif en fonction du type de sol et de la teneur en azote de la matière à épandre
  - En présence de vent en fonction du type de matière à épandre

Selon qu'elles auront été prises en compte ou non dans la conception du matériel, ces conditions d'utilisation seront importantes à restituer aux utilisateurs du matériel.

Nous proposons de renseigner les grilles ci-après qui définissent les conditions prévues pour l'utilisation du matériel.

1.2.4.1 Grille de définition des fonctions attendues selon la nature des matières pouvant être épandues

Cocher dans la grille et pour chaque type de matière proposée les cases pertinentes qui correspondent aux fonctions pour lesquelles la machine va être conçue (Les performances environnementales de la machine devront être validées en fin de projet pour chaque type de matière à épandre définies dans cette grille et pour chacune des fonctions sélectionnées).

Remarque : les fonctions proposées qui correspondent à peu près aux différentes phases de chantier ne sont pas exhaustives. Vous pouvez intégrer de nouvelles phases dans cette grille si vous le souhaitez.

Figure 5 : Illustration pour une tonne à lisier avec enfouisseur à dent

	Nature des matières pouvant être épandues des plus sèches aux plus humides --------------------------------->					
					Liquide pompable	
Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	**Solide dispersé fin**	**Solide divisé grossier**	**Solide compact cohésif**	**Produit pâteux**	**Avec risque de bouchage**	**Sans risque de bouchage**
Faciliter les Opérations spécifiques de mise en route/préparation pour le chantier (réglages, attelage, dégivrage, …)					**X**	**X**
Préparer la matière à épandre - stockage initial						
Charger la matière à épandre - stockage initial					**X**	**X**
Transporter la matière à épandre vers la parcelle					**X**	**X**
Décharger la matière à épandre - bord de parcelle						
Préparer la matière à épandre - bord de parcelle						
Charger la matière à épandre - bord de parcelle					**X**	**X**
Permettre le réglage des paramètres d'épandage (maîtrise de dose, profondeur enfouissement …)					**X**	**X**
Epandre dans la parcelle					**X**	**X**
Restituer des données d'épandage – traçabilité client						
Faciliter le nettoyage de la machine					**X**	**X**
Faciliter la Maintenance machine					**X**	**X**

1.2.4.2 Grille des outils ou infrastructures en relation avec l'épandage à prendre en compte pour chaque fonction

Le matériel doit être conçu pour fonctionner dans l'environnement de l'utilisateur.

Pour chacune des fonctions attendues cochées dans la grille précédente, compléter le plus précisément possible le tableau ci-dessous qui permet de caractériser les éléments de l'environnement de l'utilisateur susceptibles d'influencer la conception.

Figure 6 : Grille des outils ou infrastructures à prendre en compte pour chaque fonction

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	***Aspects à prendre en compte***	***Caractéristique des Infrastructures/outils disponibles chez l'utilisateur***	***Remarques, commentaires***
Faciliter les Opérations spécifiques de mise en route/préparation pour le chantier (réglages, attelage, dégivrage, …)	*Lister les opérations de mise en route à prendre compte dans la conception*	*Pour chaque opération de mise en route identifiée, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques des infrastructures ou des outils auxquels le matériel devra s'adapter*	*Préciser s'il y a lieu de quelle manière les opérations doivent être facilitées*
Préparer la matière à épandre - stockage initial	*Lister les opérations à effectuer*	"	"
Charger la matière à épandre - stockage initial	*Lister les infrastructures auxquelles le matériel devra s'adapter pour épandre*	*Pour chaque infrastructure, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques*	"
Transporter la matière à épandre vers la parcelle	*Lister les infrastructures auxquelles le matériel devra s'adapter*	*Pour chaque infrastructure, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques*	"
Décharger la matière à épandre - bord de parcelle	*Lister les infrastructures auxquelles le matériel devra s'adapter*	*Pour chaque infrastructure, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques*	"
Préparer la matière à épandre - bord de parcelle	*Lister les opérations à prendre compte dans la conception*	*Pour chaque opération de identifiée, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques des infrastructures ou des outils auxquels le matériel devra s'adapter*	"

Suite figure 6 : Grille des outils ou infrastructures à prendre en compte pour chaque fonction

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	***Aspects à prendre en compte***	***Caractéristique des Infrastructures/outils disponibles chez l'utilisateur***	***Remarques, commentaires***
Charger la matière à épandre - bord de parcelle	*Lister les infrastructures auxquelles le matériel devra s'adapter pour épandre*	*Pour chaque infrastructure, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques*	"
Permettre le réglage des paramètres d'épandage (maîtrise de dose, profondeur enfouissement …)	*Lister les opérations de réglage à prendre compte dans la conception*	*Pour chaque opération de identifiée, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques des infrastructures ou des outils auxquels le matériel devra s'adapter*	"
Epandre dans la parcelle	*Lister les infrastructures auxquelles le matériel devra s'adapter pour épandre*	*Pour chaque infrastructure, préciser s'il y a lieu, les caractéristiques*	
Restituer des données d'épandage – traçabilité client	*Lister les données d'épandage à restituer*	*Préciser s'il y a lieu, les infrastructure auxquels le matériel devra s'adapter*	
Faciliter le nettoyage de la machine	*Lister les opérations de nettoyage à prendre compte dans la conception (nettoyage de cuve, canalisation, pneus, désinfection*	*Préciser s'il y a lieu, les outils auxquels le matériel devra s'adapter*	
Faciliter la Maintenance machine	*Lister les opérations de maintenance (lubrification, pièces d'usure…)*		

Illustration pour une tonne à lisier avec enfouisseur à dent :

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	***Aspects à prendre en compte***	***Caractéristique des Infrastructures/outils disponibles chez l'utilisateur***	***Remarques, commentaires***
Faciliter les Opérations spécifiques de mise en route/préparation pour le chantier (réglages, attelage, dégivrage, …)	*attelage tracteur/tonne*	*Type d'attelage : boules, anneaux, directionnel forcé*	
	attelage tonne/enfouisseur	*Surface plane et stable*	*Prévoir un moyen de visualiser l'opération d'attelage*
	Connexions hydrauliques / électriques entre tracteur et tonne		*Standard interne*
	Connexions hydrauliques / électriques entre tonne et enfouisseur		*Standard interne*
Préparer la matière à épandre - stockage initial		*Homogénéisation de la matière à épandre avec un agitateur ou une pompe de malaxage*	
Charger la matière à épandre - stockage initial	*Accessibilité fosses de stockage pour remplissage (pb de manœuvre)*	*Définir les conditions d'accès chez l'utilisateur*	
	Profondeur de pompage : fosses enterrées	*4 mètres*	
	Raccordement (fosses enterrées – géo-membranes)	*Diamètre : 150 ou 200*	*standard utilisés*
	Nettoyage des mains	-	*Prévoir un lave main*

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	*Aspects à prendre en compte*	*Caractéristique des Infrastructures/outils disponibles chez l'utilisateur*	*Remarques, commentaires*
Transporter la matière à épandre vers la parcelle	*Conformité aux règles de circulation routière (homologation véhicule agricole) (SREA ou MIAR)*		*respect du PTAC en fonction des produits transportés (densité 1 à 1,05) et des équipements de la machine, équipement du code de la route)*
Charger la matière à épandre - bord de parcelle	*Stockage tampon des liquides*	*hauteur des containers – maxi 3 mètres*	
	Risque de sédimentation dans le stockage tampon – risque de bouchage	*Pelle*	*Pompage et refoulement dans le container pour agitation*
Permettre le réglage des paramètres d'épandage (maîtrise de dose, profondeur enfouissement …)	*Prévoir un moyen de maîtriser la dose en fonction de la vitesse, du débit et de la largeur d'épandage*	*Fiches techniques des produits à épandre (teneur en éléments fertilisants et densité …) –* *Paramètres mesurés en temps réel par le tracteur (vitesse)*	*Proposer des abaques (largeur/vitesse/ produit – index de débit à sélectionner)* *Et indexer les positions de réglage sur la machine pour faire le lien avec l'abaque* *Commande d'ouverture à assistance hydraulique*
	Prévoir un moyen de visualiser, régler et corriger ou maintenir la profondeur d'enfouissement		

Fonctions intégrées au périmètre de conception	Aspects à prendre en compte	Caractéristique des Infrastructures /outils disponibles	Remarques, commentaires
Epandre dans la parcelle	- Risque de bouchage des canalisations avec certaines matières		- Pas de moyen simple de vérifier le bouchage
	- Eventuelles défaillances du matériel (flexibles …), opération de déploiement des bras (sécurité)		Prévoir un moyen de visualiser l'outil
	- visualisation des opérations de dépliement des bras (sécurité)		Prévoir un moyen de visualiser l'outil d'épandage
Faciliter le nettoyage de la machine	Parties extérieures, Pneumatiques	Nettoyeur HP	
	Dents et broyeur/répartiteur enfouisseur	Nettoyeur HP	Trappe d'accès
	Produits de nettoyage		Proscrire les produits à base de soude et Solutions pH<6 ou pH > 12
	Lavage – désinfection de l'intérieur de la cuve	Outils manuels à prévoir	Trou d'homme bien dimensionné - concevoir pour limiter les angles morts et les zones d'accumulation (goussets)
	Dégazage de cuve (gaz toxiques)		Procédure de dégazage à respecter
Faciliter la Maintenance	Matériel à intégrer : "coffre à outil"		Prévoir une bonne lubrification du broyeur répartiteur après chaque journée de travail

1.2.4.3 Grille de caractérisation des produits à épandre

A chaque nature de matière à épandre correspondent différentes compositions de produits. Compléter le tableau ci-dessous avec la liste des matières à épandre avec les doses correspondantes :

Figure 7: Grille de caractérisation des produits à épandre

Nature de la matière à épandre	Liste des matières à épandre	Fourchettes de doses	Commentaires
Exemple : *Solides divisés grossiers*	*Fumier de volaille, compost de boues avec déchets verts*	*5 à 50 t/ha*	
Exemple *:* *Solides compacts cohésifs*	*Fumier de bovin, boue de papeterie*	*10 à 60 t/ha*	
Exemple *:* *Produit pâteux*	*Fumier mou, lisier très épais*	*10 à 60 t/ha*	

Outils et données à utiliser ?	
Outil n°1	- Tableau de composition des matières à épandre

Remarque : Si certaines matières sont "spécifiques", vous devez vous renseigner auprès de l'utilisateur des « facteurs limitants » dans leur composition et de leur impact potentiel pour obtenir la fourchette de dose acceptable.

1.2.4.4 Grilles de caractérisation des risques pour des conditions extrêmes d'épandage

<u>Grille de caractérisation des facteurs de risques en fonction des sols, de la période d'épandage et de la teneur en azote des matières à épandre</u>

La grille ci-dessous présente les principaux facteurs de risques en fonction de la teneur en N de la matière épandue.

On constate que quelque soit le type de sol, les risques sont aggravés (zone rouge) lorsque un produit riche en azote est épandu précocement. Néanmoins, les facteurs de risques peuvent être différents selon le type de sol.

Figure 8 : grille des risques en fonction de la période d'épandage et de la teneur en azote

PRODUIT	Produit épandu précocement (fin d'hiver)			Produit épandu tardivement (été)		
TYPES DE SOLS	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal[5] [1]	Produit peu concentré	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal	Produit peu concentré
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	Tassement Dégagement N2O Lessivage Ruissellement	Tassement Dégagement NH3 Lessivage Rruissellement	Tassement	Lessivage Ruissellement	Dégagement NH3 Lessivage Ruissellement	Tassement
Sol sableux (plus de 45 % de sable)	Lessivage	Lessivage Dégagement NH3	Tassement	Lessivage	Lessivage	
Sols argileux (plus de 40 % d'argile)	Dégagement N2O Ruissellement	Dégagement NH3 Ruissellement	Tassement	Ruissellement Consommation excessive d'énergie si enfouissement	Ruissellement Consommation excessive d'énergie si enfouissement	Tassement

Il s'agit de prendre en compte ces facteurs de risques dès la conception du matériel. Par la suite, la réponse apportée pourra être de différente nature.

[5] Azote non minéralisé et susceptible d'engendrer des pertes par volatilisation par temps sec et chaud

Pratiquement, il s'agit de cocher dans la grille proposée les cases correspondant aux conditions attendues de fonctionnement de la machine pour en déduire les facteurs de risques les plus importants :

Exemple 1 : Epandeur co-compost

PRODUIT	Produit épandu précocement (fin d'hiver)			Produit épandu tardivement (été)		
TYPES DE SOLS	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal[7]	Produit peu concentré	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal	Produit peu concentré
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	X		X	X		X
Sol sableux (plus de 45 % de sable)	X		X	X		X
Sols argileux (plus de 40 % d'argile)	X		X	X		X

Commentaires : Le matériel est prévu pour épandre des produits riches en azote sur tous types de sols, y compris en épandage précoce où les risques sont les plus forts

[7] Azote non minéralisé et susceptible d'engendrer des pertes par volatilisation

Exemple de réponses pour pallier à un risque de lessivage des sols :

- Informations apportées à l'utilisateur (au niveau de la notice d'utilisation ou par tout autre moyen) :
  - Eviter l'épandage précoce de matières riches en azote
  - En cas d'épandage en ligne, limiter d'autant plus les doses que les interlignes sont importants
  - pour les produits solides et les liquides non enfouis, il est vivement conseillé de travailler la terre rapidement après l'épandage
- Informations pertinentes pour le concepteur :
  - Concevoir des outils qui favorisent le foisonnement du sol au moment de l'épandage
  - limiter l'écartement entre lignes
- le risque de dégagement d'NH4 peut être abaissé par l'injection pour des produits liquides

Exemple 2 : Tonne à lisier avec enfouisseur à dent

PRODUIT	Produit épandu précocement (fin d'hiver)			Produit épandu tardivement (été)		
TYPES DE SOLS	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal	Produit peu concentré	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal	Produit peu concentré
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	X	X	X	X	X	X
Sol sableux (plus de 45 % de sable)	X	X	X	X	X	X
argileux (plus de 40 % d'argile	X	X	X	X	X	X

Commentaires : une attention particulière devra être portée sur les facteurs de risques liés à l'épandage précoce de matière, en particulier : lessivage des matières riches en azote et volatilisation pour les matières riches en azote ammoniacal

Grille de caractérisation des facteurs de risques en fonction du type de sol et de la topographie :

La grille ci-dessous présente les principaux risques en fonction du type de sol et de la topographie.

Figure 9 : grille de risques en fonction du type de sol et de la topographie

TYPES DE SOLS	Pression d'interface à ne pas dépasser en conditions semi plastiques[8]	Epandage précoce (fin d'hiver) : forte probabilité de sol humide	Epandage tardif (été) : faible probabilité de sol humide	Sol en pente	Risque de lessivage de l'azote
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	1 bar	Tassement	Tassement	Ruissellement de surface	
Sol sableux (plus de 45 % de sable)	1,2 bar	Tassement	Tassement	Ruissellement de surface	
sols argileux (plus de 40 % d'argile)	0,8 bar	Tassement	Tassement	Ruissellement de surface	

Interprétation :

- Une machine conçue pour travailler toute l'année donc y compris en hiver et au printemps devrait supporter des limites de charge et de pression d'interface les plus contraignantes qui soient y compris en sol limoneux ou argileux
- A contrario, une machine dont le programme de travail prévu est plus tourné vers des épandages d'été en climat sec pourra être conçue avec des contraintes de charge à l'essieu et de pression d'interface peu sévères

Pratiquement, il s'agit de cocher dans la grille proposée les cases correspondant aux conditions attendues de fonctionnement de la machine pour en déduire les facteurs de risques les plus importants.

---

[8] Pression d'interface limite indicative avant compactage sévère selon l'application Tasc. Pneumatiques 600/55-26.5, Pression des pneumatiques adaptée à la charge. Sols silteux, sableux et argileux, Condition semi-plastique assimilée à une consistance du sol en surface « tendre ». (E Diserens, Art)

Exemple d'une tonne à lisier avec enfouisseur à dent:

TYPES DE SOLS	Pression d'interface envisagée	Epandage précoce (fin d'hiver) : forte probabilité de sol humide	Epandage tardif (été) : faible probabilité de sol humide	Sol en pente	Risque de lessivage de l'azote
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	*Faire en sorte de préconiser un ensemble épandeur + enfouisseur optimisés pour limiter le dépassement de la pression d'interface*	X	X	X	X
Sol sableux (plus de 45 % de sable)		X	X	X	X
sols argileux (plus de 40 % d'argile)		X	X	X	X

Commentaires : Une attention particulière devra être portée sur les facteurs de risques de tassement, en particulier, respecter des limites de charge et de pression d'interface les plus contraignantes qui soient y compris en sol limoneux ou argileux. L'ajout de masse (équipement arrière) est un facteur de risque de tassement aggravant – le seul levier dans ce projet ou on ne reconçoit pas l'ensemble (épandeur + enfouisseur) sera de préconiser au client un train roulant correctement dimensionné pour compenser ce facteur de risque

Annexe à utiliser ?	
Annexe n°1	- **Période et sensibilité des sols au tassement**

Grille de caractérisation des facteurs de risque d'épandage en présence de vent

Le vent est un facteur de risque aggravant pour l'épandage car il favorise la dispersion de la matière à épandre et la volatilisation de l'azote.

Si ce facteur est pris en compte dès la conception, la machine pourra revendiquer de meilleures performances.

Pratiquement, il est demandé de préciser dans le tableau ci-dessous les conditions extrêmes de vent pour lesquelles le matériel sera prévu en fonction du type de matière à épandre :

Figure 10 : tableau de caractérisation des risques d'épandage en présence de vent

Types de matières à épandre	Absence de vent (Vent inférieur à 3 m/s)	Niveau maximal de vent ciblé en m/s
Compléter avec un type de matière	*Case à cocher*	*Case à compléter s'il s'agit d'un objectif de la conception*

Exemple d'un épandeur polyvalent co-compost :

Types de matières à épandre	Vent inférieur à 3 m/s	Niveau maximal de vent ciblé en m/s
Granulés fins	*X*	
Pulvérulents	*X*	*36 km/h ou 10 m/s*
Co-compost	*X*	*36 km/h ou 10 m/s*

1.2.5 Liste de synthèse des objectifs technico-économiques du projet

Un certain nombre de questions sont importantes à renseigner dès le début d'un projet. La liste de questions que nous proposons n'est pas exhaustive.

Dans le principe, elle doit être utilisée comme une "check liste" : elle peut être balayée rapidement par le BE et si une des questions n'a pas été envisagée et n'a pas de réponse, c'est probablement qu'elle doit être approfondie.

Les 9 points à balayer dans la liste sont les suivants :

Les objectifs de prix :

1. Le prix de vente
2. Le prix de revient

La cohérence entre les objectifs de prix, le savoir faire technique et le positionnement stratégique de l'entreprise :

3. Le type de technologie de conception
4. Le niveau de qualification requis pour le pilotage
5. Le niveau de qualification requis pour la maintenance

Les objectifs liés aux autres attentes des utilisateurs :

6. Conception adaptée à des conditions spécifiques de déplacement
7. Liste des paramètres de suivi en temps réel pour la phase d'épandage.
8. Liste des paramètres à enregistrer et à restituer en fin d'épandage.
9. Autres aspects pouvant être pris en compte.

Dans le paragraphe suivant nous commentons chacun des points proposés.

Point 1 : le prix de vente :

Donner la fourchette de prix de vente (en k€), options comprises, pour le matériel faisant l'objet du projet

Il est fonction du marché (ce que les clients sont prêts à payer pour le service), de la stratégie commerciale de l'entreprise et de la nature du projet. Il n'est pas fixé par le coût de fabrication du matériel.

Il peut s'agir d'une machine spéciale, ou bien d'un produit "catalogue" (auquel cas on pourra préciser par exemple s'il s'agit d'un matériel d'entrée de gamme, de moyenne gamme ou de haut de gamme).

Le prix de vente va déterminer le niveau de technologie accessible en conception (voir point 3).

Point 2 : le prix de revient du matériel :

Donner une estimation de la fourchette de prix de revient de la prestation d'épandage (en k€), pour le matériel faisant l'objet du projet et préciser les hypothèses de votre calcul

Commentaire :

Se fixer un objectif pour le coût de fonctionnement est important car Il détermine le temps de retour sur investissement du matériel et peut servir à justifier d'un prix de vente perçu comme élevé par le client.

Plus cet objectif sera ambitieux, par rapport aux prix de revient des matériels du marché, plus le projet devra être innovant.

En termes de conception, le coût de fonctionnement est lié notamment aux paramètres suivants qui doivent être fixés en début de projet :

- ***Rendement de chantier*** (à exprimer en tonnes ou m3 de matières épandue/heure de fonctionnement) – il dépend de la capacité de chargement de la machine, de la vitesse et de la largeur d'épandage, ainsi que du temps de chargement et éventuellement du temps de transport (du lieu de stockage au champ) – les objectifs de rendement attendus peuvent être fixées en fonction des machines existantes sur le marché.

- ***Consommation d'énergie de traction*** (à exprimer en en €/h de fonctionnement et/ou en €/km parcouru et/ou en €/kg de matière épandue) – Ce coût est lié au choix de la source d'énergie, au rendement énergétique associé et au scénario d'épandage – on peut distinguer à ce niveau, trois modes de fonctionnement différents :

  - le mode transport de matière associé à la logistique,
  - le mode transport de matière associé à l'épandage,
  - le mode stationnaire lié par exemple au chargement de la machine.

Des hypothèses sur la répartition de ces trois modes sur une journée de travail peuvent être effectuées. Selon les cas, le mode logistique peut être déterminant dans le bilan énergétique et environnemental d'un scénario d'épandage.

- ***Coût associé au pilotage*** de la machine (à exprimer en €/h de fonctionnement et/ou en €/kg de matière épandue)

  Ce coût est fonction du niveau de qualification de l'opérateur

- ***Coût associé à la maintenance*** (à exprimer en €/h de fonctionnement et/ou en €/km parcouru et/ou en €/kg de matière épandue)

  Ce coût est fonction du temps de maintenance à prévoir pour la machine (à exprimer en h/h de fonctionnement et/ou en h/km parcourus et/ou en h/kg de matière épandue)

Remarque : **le coût de revient de la machine n'est pas le coût facturé par l'entreprise qui va réaliser les travaux d'épandage. En effet, celle-ci peut augmenter le montant de ce coût d'utilisation afin de se prémunir contre des grosses réparations ou pour générer des bénéfices.**

Le coût d'utilisation d'un matériel se décompose entre :

- les charges fixes : part des charges supportées même si le matériel n'est pas utilisé correspondant à l'amortissement, les frais financiers, les assurances et remisage.

- les charges variables : part des charges supportées selon la durée d'utilisation du matériel correspondant à la main d'œuvre pour le pilotage, l'entretien/réparation, le carburant , le lubrifiant et les éventuels autres consommables (ficelles…).

Exemple 1 : calcul des charges annuelles d'un épandeur à fumier

Charges fixes annuelles pour l'épandeur:

- Prix de vente : 35000 € HT
- Amortissement sur une durée de 7 ans. Si cet amortissement est identique chaque année : 35000 € divisé par 7 = 5000 €
- Frais financiers annuels de 4 %, soit 35000 * 0,04 = 1400 €

Soit un montant de charges fixes à 6400 € par an et sur 7 ans

Charges variables annuelles pour l'épandeur :

- Entretien réparation : 450 € par an (en se basant sur les prix de revient des matériels en Cuma et/ou le barème du BCMA)

On a un cout total de 6850 € par an auquel il faudra ajouter celui du tracteur (dans le cas d'une machine traînée) et du chauffeur.

Exemple 2 : calcul du prix de revient d'une tonne à lisier (source : guides de prix de revient du réseau Cuma) pour 100 m3 épandus

Données :

- Soit une tonne à lisier de capacité comprise entre 10 000 et 12 000 litres
- Prix d'achat de 20 000 €
- Durée d'amortissement moyenne est égale à 7 ans
- 9 heures pour épandre 100 m3

Calculs des charges annuelles :

- Amortissement : 2 857 €
- Frais financiers annuels, 1% : 208 €
- Entretien réparation : 991€
- Autres charges (frais de gestion, remisage, assurances pour les automoteurs…) : 274€.

Soit un coût total annuel de ***4 330 €,*** dont 66% pour les amortissements

Calcul du prix de revient annuel :

- Les tonnes effectuent en moyenne 689 voyages ou épandent 7000 m3 (~10 m3 par voyage)

On obtient un prix de revient égal à ***6,30€/voyages*** ou ***0,62€/m3 épandu*** (620€ pour 1000m3)

A ces coûts il faut ajouter :

- Le prix de la traction : Tracteur de 100 à 110 cv avec un prix de revient estimé à 13 €/h, soit ***117 € pour 100 m3 épandus***
- Le coût de la main d'œuvre : 15€/h (moyenne qui peut varier en fonction de l'expérience et ancienneté du chauffeur), soit ***135 € pour 100 m3 épandus***

Soit un prix de revient total de :

- **~ 314 € pour 100 m 3 épandus**

Exemple 3 : calcul du prix de revient d'une autre tonne à lisier de capacité et technologies différentes *pour 100 m3 source : guides de prix de revient du réseau Cuma)*

Données :

- Soit une tonne à lisier de capacité supérieure à 18 000 litres, bien équipée (bras de pompage, accélérateur de circuit …)
- Prix d'achat de 36 000€
- Durée d'amortissement moyenne est égale à 8 ans
- 6 heures pour épandre 100 m3

Calculs des charges annuelles :

- Amortissement : 4500€
- Frais financiers annuels, 1,4% : 520 €
- Entretien réparation : 1026 €
- Autres charges (frais de gestion, remisage, assurances pour les automoteurs…) : 212 €.

Soit un coût total annuel de **6 458 €,** dont 69% pour les amortissements

Calcul du prix de revient annuel :

- Les tonnes effectuent en moyenne 716 voyages ou épandent 12800 m3 (18 m3 par voyage)

Soit un prix de revient de ***9€ par voyage*** ou ***0,50€/m3 épandu***

On obtient donc pour ce matériel de plus grande capacité et mieux équipée un coût au m3 inférieur (différence de 0,12€/m3).

A ces coûts il faut ajouter :

- Le prix de la traction : Tracteur de 140-150 cv avec un prix de revient estimé à 19€/h, soit ***114 € pour 100 m3 épandus***
- Le coût de la main d'œuvre : 15€/h, soit ***90 € pour 100 m3 épandus***

Soit un prix de revient total de :

- **254 € pour 100 m3 épandus**

Point 3 : le type de technologie de conception :

C'est le niveau "d'intelligence" que l'on souhaite mettre dans la machine. Ce point doit rester cohérent avec les objectifs économiques du projet. Une technologie évoluée est plus coûteuse à l'achat, mais peut permettre de réaliser des économies en fonctionnement et de garantir une meilleure maîtrise des impacts environnementaux du matériel.

On distinguera trois critères :

- **Niveau d'Interface Homme-Machine envisagé - IHM** - (assistance au pilotage de la machine) : **(cocher les cases suivantes en tenant compte des objectifs de prix définis précédemment et des attentes du marché)**
    - ❒ Sans objet pour le projet proposé
    - ❒ Faible = interface minimale, limitée aux paramètres de conduite
    - ❒ Moyen = la machine permet d'échanger certaines informations avec le pilote, y compris sur les conditions d'épandage
    - ❒ Elevée = l'interface est ergonomique. Le pilotage est simple et assisté

- **Niveau d'automatisme souhaité pour le processus d'épandage** : **(cocher les cases suivantes en tenant compte des objectifs de prix définis précédemment et des attentes du marché)**
    - ❒ Sans objet pour le projet proposé
    - ❒ Manuel = pas de régulation ni de contrôle de l'épandage. Les réglages et le pilotage sont manuels
    - ❒ Semi-automatique = certaines fonctions importantes pour la qualité de l'épandage sont régulées (ex : régulation de débit par rapport à une consigne)
    - ❒ Automatique = le pilotage de la machine est entièrement automatisé. Les paramètres d'épandage sont contrôlés et régulés par la machine

- **Niveau d'automatisme souhaité pour le contrôle du bon déroulement du processus d'épandage (notion d'automatisme en boucle fermée)** : (**cocher les cases suivantes en tenant compte des objectifs de prix définis précédemment et des attentes du marché**)

  ❒ Elémentaire = la vérification n'est pas assistée – c'est l'opérateur qui doit vérifier le bon déroulement du processus d'épandage

  ❒ Avec alarme = l'opérateur est averti d'un dysfonctionnement au moyen d'une alarme – l'alarme lui permet de localiser l'origine du problème. Elle peut ou pas interrompre le processus d'épandage.

  ❒ Gestion des modes de marche dégradés = la machine est capable d'adapter son fonctionnement pour respecter la consigne sans intervention de l'opérateur.

Remarque importante :

Quelles que soient les performances d'une machine en fonctionnement normal, il est important de **disposer d'un moyen qui permette de vérifier** que le résultat obtenu correspond bien à la consigne demandée.

C'est toute la question de la prise en compte des dysfonctionnements possibles, de leur niveau de criticité par rapport aux risques agro-environnementaux et des solutions proposées pour parer à ces dysfonctionnements.

Ainsi, on devra toujours se poser la question des moyens mis en œuvre pour permettre à l'opérateur de garantir le niveau de performance attendu (voir notamment § 1.7, au moment de l'éco-évaluation de la machine).

Point 4 : Niveau de qualification requis pour le pilotage du matériel : (cocher les cases suivantes en tenant compte des objectifs de prix définis précédemment et des attentes du marché)

- **technicité du pilote pour la conduite de l'attelage** :
  - ❒ faible ? = la conduite de l'attelage ne nécessite pas de maîtrise particulière, y compris lors de manœuvres délicates
  - ❒ moyenne ? = la conduite de l'attelage nécessite une certaine maîtrise lors de manœuvres délicates
  - ❒ forte ? = la conduite de l'attelage nécessite une grande maîtrise

- **technicité du pilote pour réaliser l'épandage** :
  - ❒ faible ? = le bon usage du matériel (réglages, configuration, suivi et contrôle des contraintes agronomiques, restitution …) ne nécessite aucune connaissance de bases sur l'épandage et les risques associés
  - ❒ moyenne ? = le bon usage du matériel (réglages, configuration, suivi et contrôle des contraintes agronomiques, restitution …) nécessite quelques connaissances de bases sur l'épandage et les risques associés
  - ❒ forte ? = le bon usage du matériel (réglages, configuration, suivi et contrôle des contraintes agronomiques, restitution …) nécessite de bien connaitre et comprendre les risques associés à l'épandage

- **expérience du pilote** :
  - ❒ débutant ? = on peut confier la mise en œuvre à une personne n'ayant jamais utilisé ce type de matériel et sans assistance extérieure
  - ❒ confirmé ? = la mise en œuvre nécessite une personne ayant déjà utilisé ce type de matériel sans assistance extérieure
  - ❒ expert ? = la mise en œuvre nécessite un personnel formé sur le matériel et reconnu pour ses compétences sur l'épandage

Point 5 : le niveau de qualification requis la maintenance du matériel : (cocher les cases suivantes en tenant compte des objectifs de prix définis précédemment et du niveau d'assistance à la maintenance envisagé) :

- **technicité nécessaire pour la maintenance de premier niveau** :
  - ❒ faible ? = la maintenance de premier niveau ne nécessite aucune connaissance technique
  - ❒ moyenne ? = la maintenance de premier niveau nécessite des connaissances techniques de base
  - ❒ forte ? = la maintenance de premier niveau nécessite une formation spécifique sur le matériel

- **technicité nécessaire pour la maintenance de deuxième niveau** :
  - ❒ faible ? = la maintenance de deuxième niveau ne nécessite aucune connaissance technique
  - ❒ moyenne ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite des connaissances techniques de base
  - ❒ forte ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite une formation spécifique sur le matériel

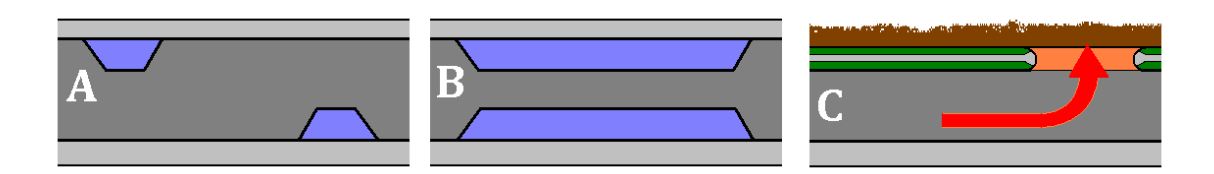
- **expérience du pilote nécessaire pour la maintenance de premier niveau** :
  - ❒ débutant ? = on peut confier la maintenance de premier niveau à une personne n'ayant jamais utilisé ce type de matériel et sans assistance extérieure
  - ❒ confirmé ? = la maintenance de premier niveau nécessite une personne connaissant bien ce type de matériel
  - ❒ expert ? = la mise en œuvre nécessite un personnel spécialisé sur ce type de matériel

- **expérience du pilote nécessaire pour la maintenance de deuxième niveau** :
  - ❒ débutant ? = on peut confier la maintenance de deuxième niveau à une personne n'ayant jamais utilisé ce type de matériel et sans assistance extérieure
  - ❒ confirmé ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite une personne connaissant bien ce type de matériel
  - ❒ expert ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite un personnel spécialisé sur ce type de matériel

Point 6 : penser une conception adaptée à des conditions spécifiques de déplacement - (compléter les questions ci-dessous en fonction des éléments spécifiques recueillis auprès des clients et à intégrer dans le cahier des charges du projet) :

Les machines doivent pouvoir se déplacer dans les conditions imposées par le client. Parfois, ces conditions peuvent être très spécifiques. Il s'agit de décrire de la manière la plus précise possible la nature des obstacles ou des configurations pour lesquels la machine doit être conçue, puisqu'ils sont susceptibles d'influencer la géométrie de la machine.

- **Pente maximale sur route** : (**à préciser s'il y a lieu**)
- **Pente maximale au champ** : (**à préciser s'il y a lieu**)
- **Géométrie des parcelles à épandre** (**préciser s'il y a lieu les longueurs, largeurs et formes moyennes**)
- **Capacité de franchissement** (**description s'il y a lieu des obstacles potentiels pour lesquels la machine est adaptée - franchissement de dévers, de marches, de buttes - entrées de parcelles plus hautes ou plus basses que la voirie - garde au sol – faire des croquis si besoin**)
- **Type et dimensions d'accès/d'espaces** (**parcelles ou aménagements urbains) pour lesquels la machine est adaptée** **(faire des schémas)**.
    - ❒ La capacité de franchissement des chicanes (A) selon leur espacement longitudinal et transversal, des largeurs d'«écluses» (B) et autres aménagements urbains
    - ❒ La largeur d'entrée de champs nécessaire en fonction de la largeur de la voirie (C).



- **Conditions limites de stabilité dynamique :**

Point 7 : établir la liste des paramètres de suivi en temps réel pour la phase d'épandage :

(Cocher les paramètres de suivi à prévoir en précisant s'ils relèvent ou non de la conception du matériel)

- ❒ distance parcourue,
- ❒ vitesse avancement,
- ❒ surface épandue,
- ❒ quantité de matière apportée (masse et/ou volume),
- ❒ consommation de carburant par unité de travail (tonne ou hectare) …
- ❒ dose instantanée (tonne/ha),
- ❒ correction de trajectoire par GPS
- ❒ Autre …

Point 8 : établir la liste des paramètres à enregistrer et à restituer en fin d'épandage :

(Cocher ou compléter les paramètres d'épandage à restituer en fin d'épandage en précisant s'ils relèvent ou non de la conception du matériel)

Remarque : Certains paramètres sont à renseigner par les utilisateurs dans le "cahier d'épandage". Ceux qui sont réglementaires sont signalés par le symbole (R)

- ❒ date de réalisation de l'épandage, (R)
- ❒ nom du pilote,
- ❒ nature de la matière épandue, (R)
- ❒ dose de consigne,
- ❒ dose réellement épandue, (R)
- ❒ quantité de matière épandue et teneur en azote (R)
- ❒ identification de la parcelle épandue, (R)
- ❒ performances globale du chantier (temps/ha, tonne/heure),
- ❒ temps chantier (global ou décomposé),
- ❒ quantité épandue sur la parcelle, (R)
- ❒ Autre : …

Point 9 : autres aspects pouvant être pris en compte :

- **Design (à compléter s'il faut prévoir d'intégrer le travail d'un designer)**

- **Couleur (à compléter s'il faut prévoir d'intégrer des couleurs ou dessins spécifiques)**

- **Confort opérateur au-delà des obligations réglementaires - (à compléter s'il y a lieu par une liste et une description des fonctions à intégrer au matériel. Ex : amortissements spécifiques, ergonomie pour les accès - échelles, plate-forme…)**

- **Documentation (type de support à prévoir pour la documentation et contenu à intégrer)**

1.3 ETAPE 2 : ECO-EVALUER UN MATERIEL DE REFERENCE

1.3.1 Principes

L'éco-évaluation d'un matériel d'épandage de référence a pour objectif de mesurer les points forts et les points faibles de ce matériel du point de vue de ses impacts environnementaux et d'en déduire des pistes d'amélioration qui pourront être intégrées au cahier des charges d'éco-conception.

Des protocoles d'essais et de simulations ont été définis dans le cadre du projet ECODEFI pour éco-évaluer les matériels d'épandage. Ces essais donnent accès à 3 types d'indicateurs de performance environnementale, dépendants les uns des autres :

- Les **"*indicateurs technologiques*"** qui sont évalués directement à partir des résultats d'essais et dont l'interprétation permet de guider le BE vers des pistes d'amélioration.

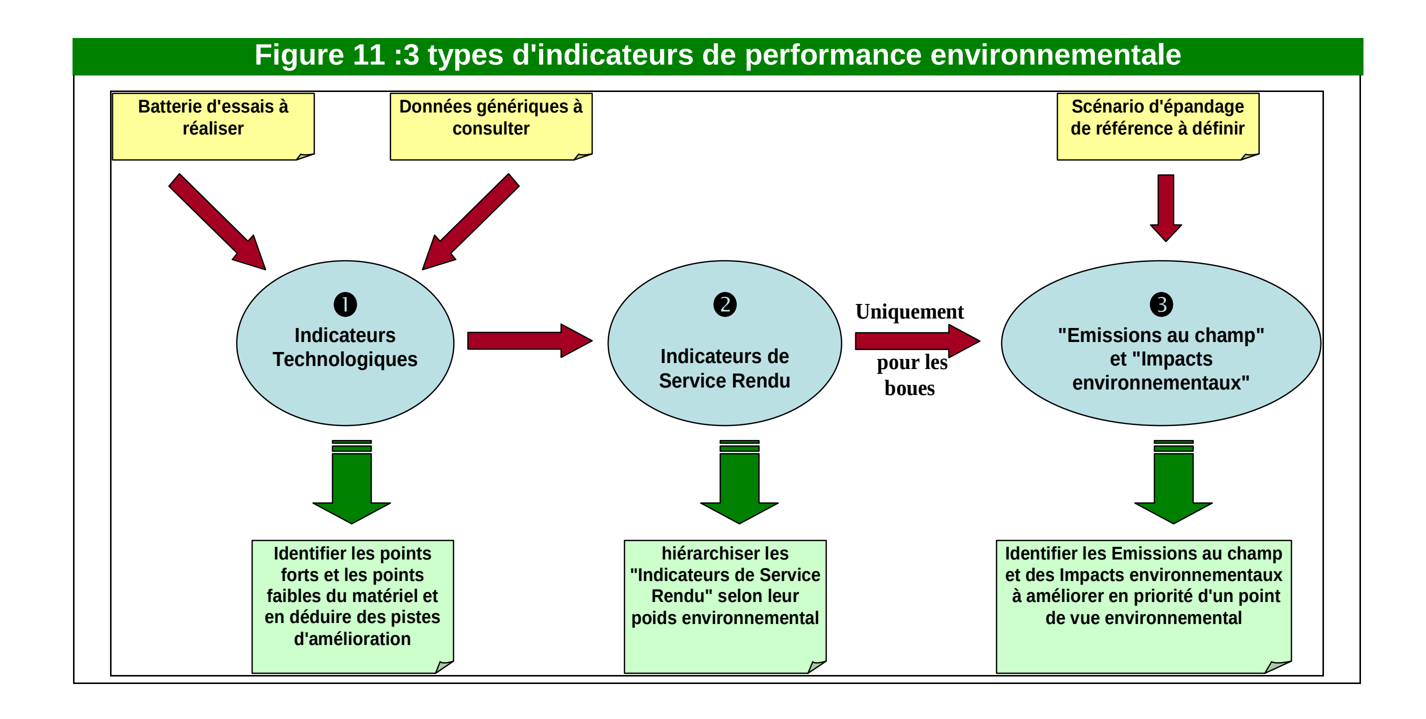
- Les "***Indicateurs de Services Rendus***" qui sont calculés à partir de combinaisons pondérées des **"*indicateurs technologiques*"**

- Les "Emissions aux champs" et les "impacts environnementaux" qui sont calculés à partir de quelques "Indicateurs de Services Rendus" de ou "indicateurs technologiques"

- pour un scénario d'épandage de référence à l'aide d'un calculateur d'Analyse de Cycle de Vie Simplifié développé dans le cadre du projet ECODEFI. Seuls les scénarios d'épandage de boues peuvent pour l'instant être évalués avec le calculateur.

Ces indicateurs sont présentés dans la figure ci-dessous :

Figure 11 :3 types d'indicateurs de performance environnementale



1.3.2 Mode opératoire

Quoi ?	• Eco-évaluer une machine de référence
Quand ?	• Dès que possible
Qui ?	• Cemagref Montoldre : essais machine sur matières solides • Chambre d'Agriculture de Bretagne – station des Cormiers : essais machine sur matières liquides • Chef de projet : Calcul des Indicateurs Services rendus et évaluation des impacts environnementaux (si épandage de boues) à partir des résultats d'essais
Comment ?	• ***Faire évaluer le matériel de référence*** au moyen des essais mis en place dans le cadre du projet ECODEFI. - Pour découvrir les essais qui peuvent être réalisés sur les machines et pour avoir une idée des performances de votre matériel sans forcément réaliser ces essais vous pouvez contacter le CEMAGREF ou la Chambre d'agriculture de Bretagne. L'intérêt de faire réaliser les essais par le CEMAGREF ou la Chambre d'agriculture est double : d'une part, cela permet de positionner une référence fiable de son savoir faire propre, et d'autre part, cela permet de bénéficier d'une expertise sur les pistes d'améliorations possibles. • ***Calculer et interpréter les valeurs obtenues d'Indicateurs Technologiques et d'indicateurs de Services Rendus*** pour la machine de référence. Pour découvrir les indicateurs et la manière de les calculer, vous pouvez consulter les ***annexes 2 et 3*** du guide : - **Description des indicateurs de service rendu et des indicateurs technologiques** - **Principe de calcul des indicateurs de service rendu** Le simulateur d'épandage développé par le Cemagref permet d'obtenir une information complète sur les indicateurs de dosage et de répartition. Voir illustration en annexe 4 : - **Description du simulateur d'épandage**

	Pour synthétiser les résultats obtenus pour chaque indicateur, vous pouvez utiliser les ***modèles n°4*** : • Tableau de cotation des indicateurs technologiques ou les fichiers excel associés : • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeur avec enfouisseur de liquides • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeur en ligne de liquides • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeurs en nappe de liquides • Fiche de cotation des indicateurs technologiques pour épandeurs en nappe de solides • ***Calculer et interpréter les émissions au champ et les impacts environnementaux*** pour la machine de référence et pour un scénario de référence. Pour cela, vous devez utiliser le calculateur d'ACV simplifié. Pour vous familiariser avec les risques et impacts environnementaux associés à l'épandage, il faut consulter ***l'annexe n°5*** du guide ***:*** • Description des risques liés à l'épandage et des impacts environnementaux associés Pour synthétiser et interpréter les résultats obtenus, vous devez utiliser le ***modèle n°5*** du guide ***:*** • Fiche de synthèse du calcul des impacts pour un scénario de référence

1.3.3 Faire évaluer le matériel de référence

Pour toute information complémentaire concernant les protocoles d'essais, contacter le Cemagref ou la Chambre d'Agriculture de Bretagne (voir § 1.0.4). Il est également possible de télécharger sur le site Internet du projet le livrable T3c faisant références aux indicateurs et aux protocoles d'évaluation des machines d'épandage de produits liquides et solides (https://ecodefi.cemagref.fr/)

1.3.4 Calculer et interpréter les Indicateurs Technologiques et les indicateurs de Services Rendus

1.3.4.1 Fonctions et Indicateurs de Service Rendu

Huit « **fonctions** » de service rendu prioritaires pour les matériels d'épandage ont été identifiées dans le cadre du projet ECODEFI. Elles ont été appelées "**fonctions de service rendu**".

A chacune de ces fonctions correspond un ou plusieurs critères d'évaluations. Ainsi, neuf critères ont été définis dans le cadre du projet ECODEFI. Ils ont été appelés « **indicateurs de service rendu** »..

Le tableau ci-dessous établit la correspondance entre les **fonctions de service rendu** et les **indicateurs correspondants** :

Figure 12 : correspondance entre les fonctions et les indicateurs de service rendu

Fonction de service rendu	Indicateur de service rendu correspondant
☐ **Optimiser la consommation d'énergie pour le transport et l'épandage**	☐ Puissance - efficience
☐ **Epandre la bonne dose**	☐ Dosage
☐ **Assurer une bonne répartition de la matière**	☐ Répartition
☐ **Assurer un bon fractionnement de la matière**	☐ Fractionnement
☐ **Limiter le tassement des sols lors de l'épandage**	☐ Tassement
☐ **Limiter le ruissellement des produits épandus**	☐ Orniérage
☐ **Limiter la volatilisation des matières épandues (émissions directes)**	☐ Projection ☐ Enfouissement – dépôt
☐ **Limiter les émissions indirectes de la machine dans l'environnement (hors matière à épandre)**	☐ Propreté - ressources

1.3.4.2 Intérêt des indicateurs technologiques et de service rendu

Les indicateurs de service rendu permettent de **faire le lien avec les impacts environnementaux des machines** au travers du calcul des émissions au champ. Les modèles pour le calcul de ces émissions ont été établis à partir de la connaissance des technologies existantes.

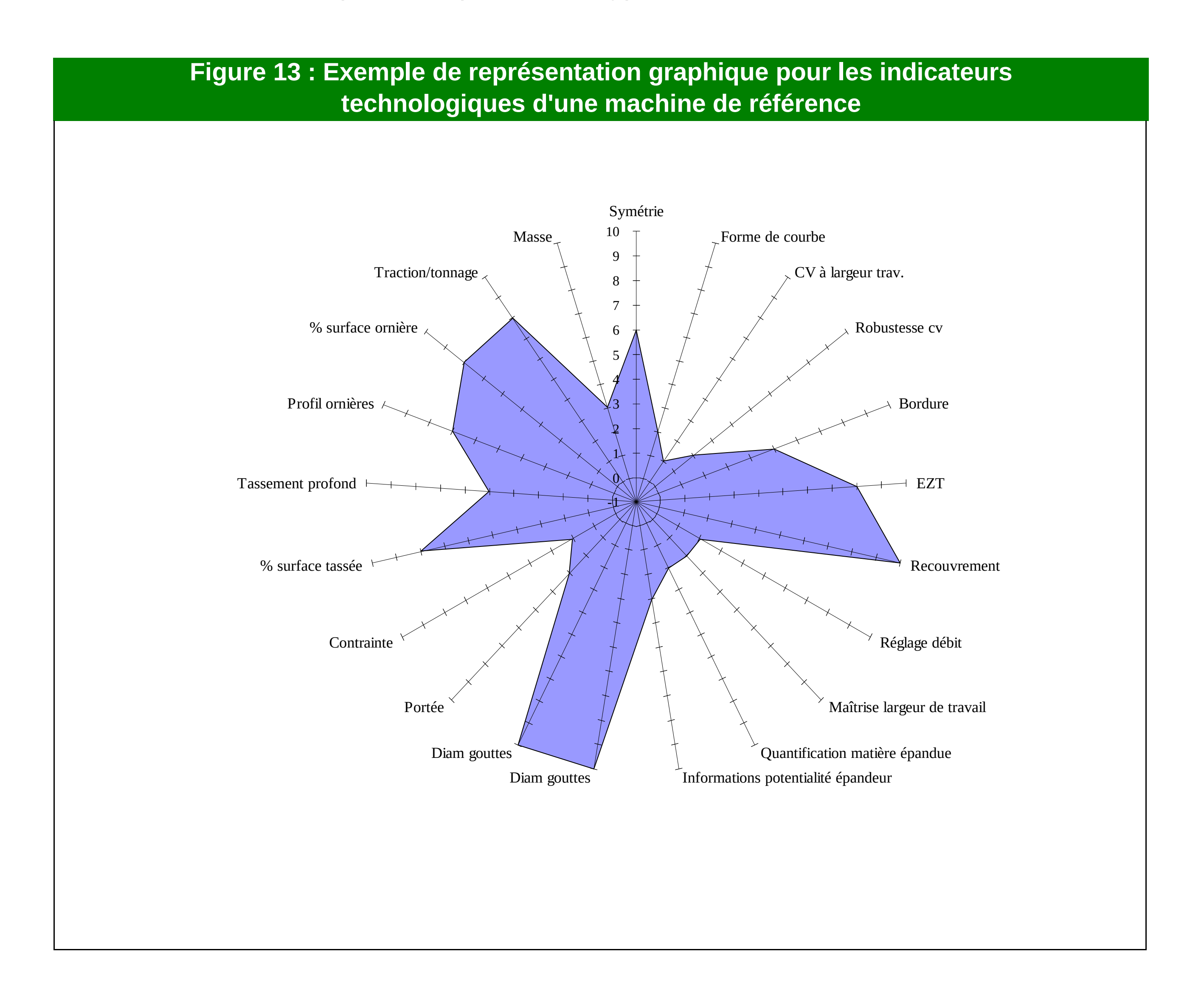
Remarque : les indicateurs technologiques et de service rendu sont amenés à évoluer. Ceux présentés dans le guide correspondent à un état des connaissances au moment de la publication.

Les indicateurs technologiques permettent **d'évaluer les points forts et les points faibles d'une machine de référence** dans le but d'orienter le BE vers des pistes d'amélioration pertinentes. C'est pourquoi la présentation des résultats pour les indicateurs technologiques et de service rendu doit s'accompagner d'une réflexion sur les causes de la notation et les moyens de l'améliorer pour les indicateurs les plus "critiques" d'un point de vue environnemental.

Pour aider le BE à mener cette réflexion nous proposons de synthétiser les résultats obtenus à l'aide du modèles n° 4 "Tableau de cotation des indicateurs technologiques", décliné sous forme de fichiers informatiques pour chaque famille d'épandeur :

La figure ci-dessous est obtenue en entrant les valeurs des indicateurs technologiques dans le fichier informatique correspondant au type de matériel testé :

Figure 13 : Exemple de représentation graphique pour les indicateurs technologiques d'une machine de référence



1.3.4.3 Compléments d'informations

Pour un premier positionnement de votre matériel sans faire d'essais, à partir des résultats obtenus sur quelques matériels de référence, consulter le Cemagref ou la Chambre d'Agriculture de Bretagne (voir § 1.0.4).

Pour obtenir des informations sur la définition et le calcul des Indicateurs technologiques et de Services Rendus, consulter **les Annexes 2 et 3** :

- **Description des indicateurs de service rendu et des indicateurs technologiques**
- **Principe de calcul des indicateurs de service rendu**

1.3.5 Calculer et interpréter les émissions au champ et les impacts environnementaux

Le calculateur d'ACV simplifiée, nommé ACV3E, a été développé spécifiquement pour permettre une évaluation quantitative des impacts environnementaux d'un scénario d'épandage. Il permet également de distinguer les émissions liées à la fertilisation des cultures des émissions liées à l'apport d'effluent et prenant en compte les caractéristiques des machines. Ainsi, si les performances d'un matériel, exprimées en terme d'indicateurs technologiques ou de service rendu évoluent suite à une re-conception, il sera possible avec cet outil de comparer et de quantifier ces impacts avant et après.

De même, l'outil peut être utilisé de manière prospective pour évaluer à priori les effets d'une évolution technique d'un matériel sur les indicateurs de service rendu, puis sur les impacts environnementaux. Cet exercice permet d'orienter le BE vers les priorités de conception.

- Dans les deux cas, il est nécessaire de savoir bien interpréter les résultats, exprimés en termes d'impact, pour les relier aux bons indicateurs de performance environnementale. Pour cela, vous pouvez consulter le Cemagref ou la Chambre d'Agriculture de Bretagne (voir § 1.0.4).

Remarque : Chaque résultat proposé par le calculateur est dépendant du scénario d'usage. Il est donc conseillé de fixer dès le début d'un projet les conditions les plus probables pour un ***scénario d'usage de référence*** du matériel et de conserver ces paramètres pour toute la suite du projet.

- Le ***modèle n° 5*** du guide (**Fiche de synthèse du calcul des impacts pour un scénario de référence**) a pour but d'aider le BE à synthétiser les résultats obtenus ave le calculateur d'ACV simplifié et déterminer :

    - les scénarios qui ont le plus d'impact, si la machine est conçue pour plusieurs scénarios d'usage[9] différents.
    - la phase de chantier qui a la contribution la plus importante aux impacts (sol, épandage, logistique)
    - les indicateurs de service rendu à améliorer, en lien avec les impacts les plus significatifs

[9] Un scénario d'usage correspond à une combinaison Matières à épandre - distances moyennes de transport

1.4 ETAPE 3 : HIERARCHISER ET SELECTIONNER LES INDICATEURS DE SERVICE RENDU A AMELIORER

1.4.1 Principe

A cette étape, le BE a identifié les ***enjeux techniques et environnementaux*** d'un matériel de référence. Il doit à présent décider des priorités dans le cahier des charges d'éco-conception du projet.

Il doit également s'assurer que les "***exigences spécifiques ou concepts innovants***" qui ont été formulées dans la ***note de cadrage*** sont bien compatibles avec les enjeux environnementaux et ne vont pas contribuer à pénaliser les indicateurs technologiques. Le cas échéant, il devra tout mettre en œuvre pour limiter la dégradation de ces indicateurs.

1.4.2 Mode opératoire

Quoi ?	• Définir le cahier des charges d'éco-conception du projet
Quand ?	• Dès que les indicateurs technologiques ont été évalués pour un matériel de référence
Qui ?	• Le BE
Comment ?	• ***Identifier les indicateurs technologiques pour lesquels le niveau de risque est maximal***. 2 outils peuvent être utilisés pour cela : o **Les grilles de hiérarchisation des indicateurs technologiques** o **Logiciel : le calculateur d'ACV simplifiée** • ***Définir le cahier des charges d'éco-conception du projet*** à l'aide du ***modèle n°6*** du guide : o **Cahier des charges d'éco-conception** ***Pour ce faire, il suffira de reporter*** les pistes d'amélioration identifiées dans le "***tableau de cotation des indicateurs technologiques***" (voir ***modèle n°4*** renseigné à l'étape 2) en tenant compte des ***niveaux de risques maximaux*** et de la faisabilité technico-économique

1.4.3 Identifier les indicateurs technologiques pour lesquels le niveau de risque est maximal

1.4.3.1 Tableau d'aide à la hiérarchisation des indicateurs technologiques

Pour identifier les indicateurs technologiques pour lesquels le niveau de risque est maximal on peut utiliser le tableau proposé ci-dessous ou une note faible indique un risque ***très fort*** d'impact environnemental lié au matériel :

Figure 14 : Tableau d'aide à la hiérarchisation des priorités

Fonction de service rendu	Impacts environnementaux à considérer en priorité si note d'indicateur technologique faible	Conditions de risque maximum
Optimiser la consommation d'énergie.	Les exigences de puissance excessives entraînent : 1) Emission de GES et donc **effet de serre** 🛇 (Risque fort) 2) Consommation d'une **ressource non renouvelable** 🛇 (Risque fort)	
Epandre la bonne dose/ha	*A) Le sur dosage :* 1) **Eutrophisation** des milieux par lessivage (NO_3) ou ruissellement (NH_3, P_2O_5, matières en suspension) 🛇 (Risque intermédiaire) 2) Excès de fertilisant pour la culture (moins de rendement dû à la verse) 🛇 (Risque fort) 3) Dégagement de GES (N_2O) et donc **effet de serre**. 🛇 (Risque intermédiaire) 4) Consommation d'une **ressource non renouvelable** (azote donc énergie, P_2O_5, K_2O...) 🛇 (Risque limité) 5) Contamination des sols **(Ecotoxicité)**, si apport de produits contenant des toxiques (métaux lourds) 🛇 (Risque limité) *B) Le sous dosage :* 1) Perte de rendement 🛇 (Risque fort)	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).*** ***3) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/printemps)***
Assurer une bonne répartition	La mauvaise répartition provoque des sur doses et sous doses localisées et donc : 1) **Eutrophisation** des milieux par lessivage (NO^3) ou ruissellement (NH_3, P_2O_5, matières en supension) 🛇 (Risque intermédiaire) 2) Perte (ou excès) localisé de fertilisant pour la culture (moins de rendement) 🛇 (Risque fort) 3) Dégagement de GES (N_2O) et donc **effet de serre**. 🛇 (Risque intermédiaire)	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/printemps)*** ***3) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps)***

🛇 Risque fort, 🛇 Risque intermédiaire, 🛇 Risque limité

Assurer un bon fractionnement de la matière	La présence de « paquets » crée des sur doses et des sous doses localisées et donc : 1) **Eutrophisation** des milieux par lessivage (NO_3). 2) Perte (ou excès) localisé de fertilisant pour la culture (moins de rendement) 3) Dégagement de GES (N_2O) et donc **effet de serre**	
Limiter le tassement du sol lors de l'épandage	L'excès de pression au sol, de surface tassée et de charge à l'essieu provoquent : 1) Perte de rendement pour la culture 2) Dégagement de N_2O et donc **effet de serre** 3) Compaction des sols si tassement profond. Favorise le ruissellement (cf voir plus loin)	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).*** ***2) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).*** ***3) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).***
Limiter le ruissellement des produits épandus	L'orniérage (profil et surface d'ornière) favorise le ruissellement qui entraine : 1) **Eutrophisation** des milieux (NH_3, P_2O_5, MES) 2) Perte de **ressources non renouvelables** (fertilisants) 3) Perte de fertilisants pour la culture (moins de rendement)	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/printemps).*** ***2) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).***
Limiter la volatilisation des matières épandues	La projection aérienne et l'enfouissement insuffisant favorisent la volatilisation qui entraine : 1) Dégagement de NH_3 (**acidification des milieux**). 2) Consommation d'une **ressource non renouvelable.**	***1) Risque maximum, par temps sec et chaud***
Limiter les émissions indirectes de la machine dans l'environnement	Les lubrifiants rejetés dans l'environnement génèrent des films huileux en surface de l'eau. 1) **Eutrophisation** des milieux.	

1.4.3.2 Logiciel : calculateur d'ACV simplifiée

Une autre manière de hiérarchiser les priorités en termes d'indicateurs technologiques est d'utiliser le calculateur d'ACV simplifiée.

A l'étape précédente, nous avons indiqué que le calculateur d'ACV simplifiée peut permettre d'évaluer pour un scénario donné, les valeurs d'indicateurs technologiques pour lesquels la réduction des impacts environnementaux est la plus importante.

Ces informations ont été synthétisées à l'aide du modèle n°5 du guide :

- **Fiche de synthèse du calcul des impacts pour un scénario de référence**

1.4.4 Définir le cahier des charges d'éco-conception du projet

Une fois les indicateurs technologiques les plus "sensibles" identifiés pour la machine de référence, il s'agit de fixer des objectifs d'amélioration à mettre en œuvre dans le cadre du projet en cours.

Le cahier des charges d'éco-conception reprend les pistes d'amélioration identifiées dans le "***tableau de cotation des indicateurs technologiques***" (voir ***modèle n°4*** renseigné à l'étape 2) qui combinent à la fois une faisabilité technico-économique envisageable pour l'entreprise et un potentiel intéressant de réduction du niveau de risque.

Utiliser le ***modèle n°6*** du guide pour formaliser ce cahier des charges :

- Cahier des charge d'éco-conception

Remarque : Validation des exigences spécifiques initiales

Dans la note de cadrage du projet (voir modèle n°1), certaines exigences spécifiques ou certains concepts à prendre en compte dans le projet ont pu être définis.

Certaines de ces exigences permettent ***d'améliorer le service rendu***, d'autres peuvent le dégrader. Dans ce dernier cas, le BE pourra être amené à reconsidérer la pertinence de l'exigence en question si le niveau de risque induit est très fort. Dans tous les cas, la recherche des solutions devra s'attacher à dégrader le moins possible les indicateurs technologiques.

Exemple de raisonnement :

Une des exigences techniques initiales d'un projet est d'asservir la pression d'air dans la cuve d'un épandeur à lisier à la hauteur de liquide

- Validation de l'exigence initiale :

Exigence spécifique initiale	Critère ou lien avec un indicateur technologique	Lien avec une Fonction de service rendu	Commentaire sur la pertinence de l'exigence technique
Asservir la pression d'air dans la cuve à la hauteur de liquide dans un épandeur à pression	***Maintenir un débit d'épandage constant*** (Le débit d'un épandeur à lisier décroit progressivement au fur et à mesure de la baisse de hauteur de liquide - la répartition longitudinale est affectée. Le concept vise à compenser la baisse de hauteur de liquide par une augmentation de pression d'air - Indicateurs concernés : IR8 et IR9	***Assurer une bonne répartition de la matière***	Cette exigence initiale permet d'améliorer une fonction de service rendu

- Lien éventuel avec d'autres fonctions de service rendu :

La figure ci-dessous peut aider le BE à passer rapidement en revue les indicateurs de service rendu :

Figure 15: lien entre critères d'évaluation de fonctions et les fonctions de services rendus

Fonctions de services rendus / **Critères d'évaluation pour les 7 fonctions proposées**	*Assurer une bonne répartition de la matière*	*Epandre la bonne dose*	*Assurer un bon fractionnement de la matière*	*Limiter la volatilisation des matières épandues (émissions directes)*	*Efficacité de l'enfouissement-dépôt*	*Limiter le tassement des sols lors de*	*Limiter le ruissellement des produits épandus*	*Optimiser la consommation d'énergie pour le transport et l'épandage*	*Limiter les émissions indirectes de la machine dans l'environnement (hors matière à épandre)*
Maintenir un débit d'épandage constant	Forte influence	Forte influence						Faible influence	

 Faible Influence  Forte Influence

La case orange indique que le maintien du débit est susceptible de nécessiter un apport d'énergie supplémentaire. Cependant cet apport sera de faible influence par rapport à la consommation globale de la machine – On pourra veiller dans le choix de la solution à ne pas dégrader l'indicateur de service rendu **"*puissance – efficience*"**

- Exemple de solution possible:



Un flotteur commande une correction de la pression en fonction de la hauteur de liquide

1.5 ETAPE 4 : CHERCHER DES SOLUTIONS INNOVANTES – APPLIQUER DES PRINCIPES D'ECO-CONCEPTION

1.5.1 Principes

Principe 1 : le cahier des charges d'éco-conception décrit le besoin en termes d'objectifs de performances à atteindre pour les indicateurs technologiques. Ces objectifs vont permettre d'orienter les choix technologiques.

Principe 2 : dans la recherche de solutions pour résoudre un problème technique spécifique, on peut faire appel à des méthodes et outils qui favorisent l'innovation – la mise en œuvre de ces outils nécessite généralement de faire appel à des compétences extérieures.

Principe 3 : Au cours de la phase de conception, le BE est amené à définir :

- Des matériaux et des procédés de transformation associés
- Une architecture d'assemblage
- Des composants ou sous ensembles

Un certain nombre d'outils peuvent être utilisés pour orienter ces choix

1.5.2 Mode opératoire

Quoi ?	• Concevoir le produit
Quand ?	• Après définition du cahier des charges (voir étape 3)
Qui ?	• Le BE
Comment ?	• ***Appliquer le principe n°1*** à toutes solution envisagée (examiner les conséquences sur les valeurs des indicateurs technologiques) • ***Utiliser des méthodes et outils d'innovation*** • ***Utiliser des principes d'éco-conception***

1.5.3 Utiliser des méthodes et outils d'innovation

1.5.3.1 Principe

Des méthodes existent pour aider les concepteurs à formuler des concepts innovants permettant de résoudre des problèmes techniques complexes.

L'application de ces méthodes se décompose généralement en 3 phases :

- Phase 1 : formalisation du problème,
- Phase 2 : génération des concepts,
- Phase 3 : évaluation des concepts.

Ces méthodes font appel à des outils spécifiques et nécessitent généralement une assistance extérieure pour être mises en œuvre.

Dans ce paragraphe, nous n'allons pas décrire les méthodes d'innovation. Notre objectif est de porter à l'attention des BE l'existence de ces méthodes et outils et d'illustrer par des exemples très simples chacune des phases citées plus haut.

Phase 1 - formalisation du problème

Cette phase consiste à étudier chaque problème posé par le produit afin d'en identifier l'origine sur laquelle on pourra ensuite concentrer les efforts.

Plusieurs outils sont utilisés pour identifier et formaliser l'origine des problèmes :

- le Questionnaire de la Situation Innovante (QSI),
- l'Analyse Cause Racine (ACR),
- le Résultat Idéal Final (RIF),
- l'analyse substance-champ
- l'analyse effet utile-effet néfaste
- les lois d'évolution des systèmes techniques.

Ces outils se complètent.

Selon la nature et la complexité du problème, le concepteur en choisit un ou plusieurs d'entre eux.

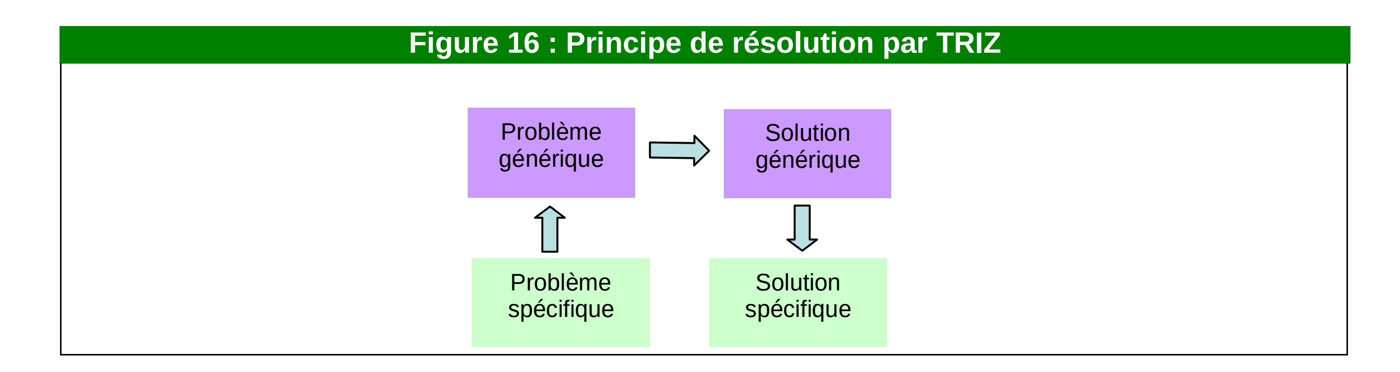
Phase 2 - génération des concepts

Dans cette phase, la méthode TRIZ est appliquée pour générer de nouveaux concepts.

TRIZ est un acronyme russe qui signifie théorie de résolution des problèmes inventifs. Il s'agit d'un ensemble d'outils et de concepts qui accélèrent l'habilité d'une équipe à résoudre ses problèmes d'une façon créative.

L'application de TRIZ est basée sur la formulation du problème général à partir d'un problème spécifique, puis l'utilisation des outils TRIZ pour identifier les solutions génériques. Enfin, l'interprétation de ces solutions génériques permet d'accéder à une solution spécifique au problème.

Figure 16 : Principe de résolution par TRIZ



Les principaux outils TRIZ sont les suivants :

- Les effets scientifiques,
- les 40 principes d'innovation,
- les 76 solutions génériques,
- les lois d'évolution
- l'algorithme de résolution des problèmes inventifs ARIZ.

Phase 3 – évaluation des concepts

Cette phase a pour but d'étudier et d'évaluer les concepts générés dans la phase 2.

L'analyse multicritère, est utilisée pour l'évaluation des concepts. Plusieurs méthodes existent.

1.5.3.2 Illustration : Les 76 solutions génériques, exemple appliqué à l'épandage de produits cohésifs

« Les 76 solutions génériques » est un outil permettant d'utiliser des solutions génériques sous forme de recommandations portant sur la manière de transformer ou de modifier un système afin d'éliminer le problème identifié.

Ces solutions sont obtenues par une modélisation appelée " la modélisation substance-champ".

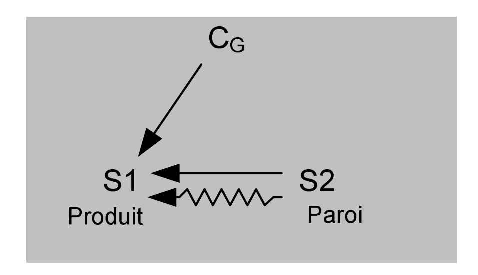
Exemple

Pendant la phase d'épandage, et lors de l'extraction de produits cohésifs, il peut y avoir formation de voûte dans la trémie. Ces voûtes altèrent l'extraction du produit et par conséquent entraînent une diminution du débit de vidange. Ce phénomène est accentué dans certains cas par la compaction lors du chargement.

Les parois de la trémie tiennent le produit à épandre (action utile)

Les parois forment des surfaces d'appui pour les voûtes qui se forment à l'intérieur de la trémie (action néfaste)

L'analyse Substance-Champ donne le modèle suivant :



Modèle de l'analyse Substance-champ

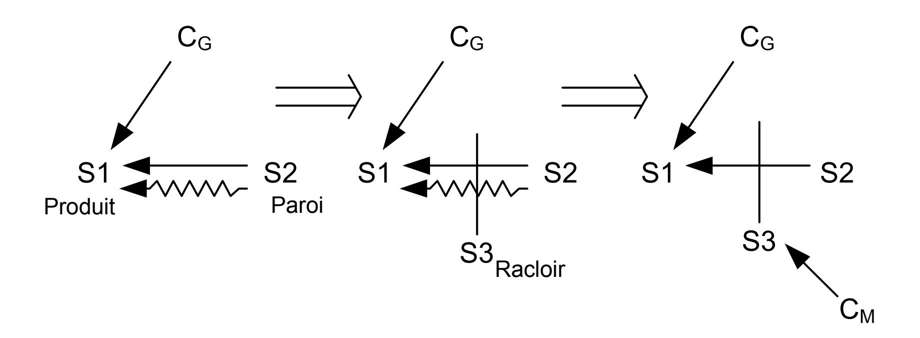
Avec :

- S1 : Produit à épandre
- S2 : Paroi
- C_G : Champ gravitationnel

En se basant sur ce modèle et en utilisant l'outil "les 76 solutions génériques", nous obtenons par exemple les solutions génériques suivantes :

Solution 1 : Introduire une nouvelle substance S3 entre la substance S1 et S2.

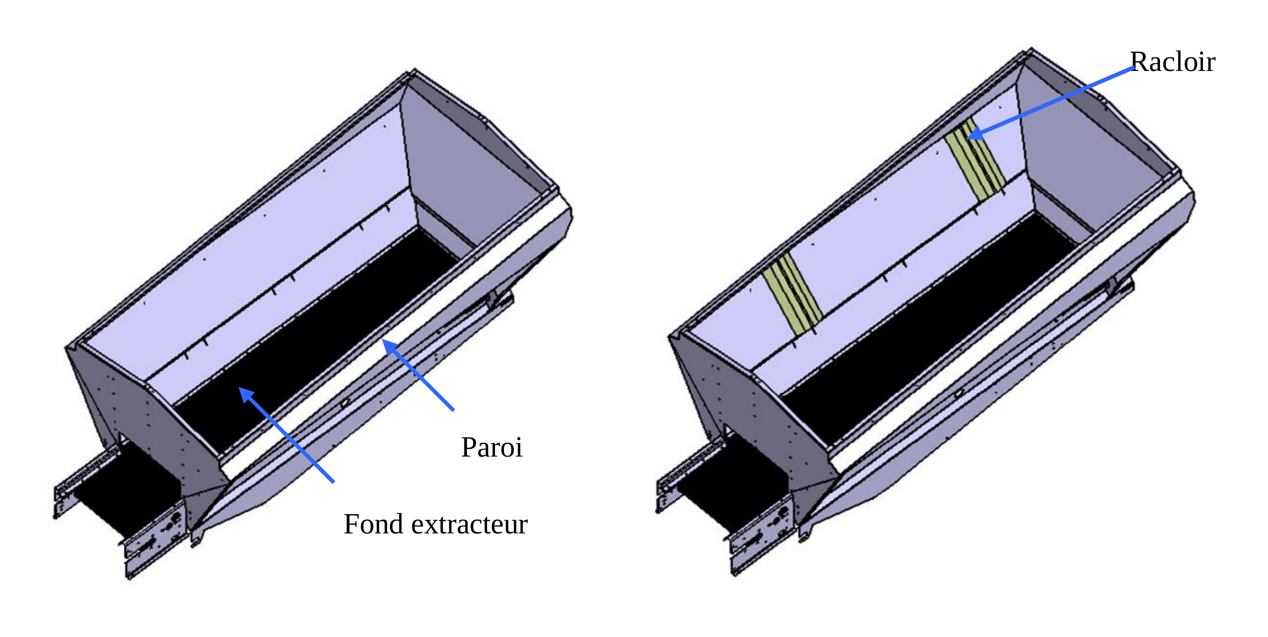
S3 pourraient être des racloirs pour racler et décoller le produit à épandre des parois. Les racloirs sont munis d'un mouvement de va et vient. Le passage de ces derniers déstabilise les voûtes et empêche celles-ci de se former.



S3 : Racloirs
C_M : Champ mécanique

Premier modèle de l'analyse Substance-Champ du système d'extraction

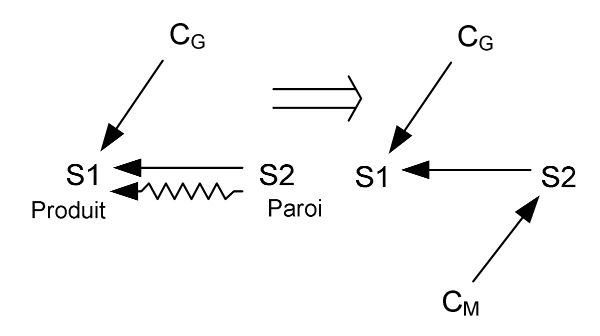
Illustration :



Modèle de référence

Solution 1

Solution 2 : introduire un deuxième champ pour neutraliser l'action nuisible (ou transformer l'action nuisible) en deuxième action utile.

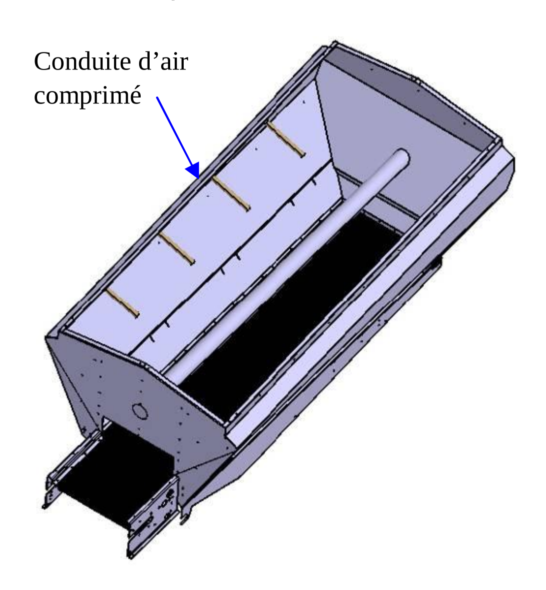


Deuxième modèle de l'analyse Substance-Champ du système d'extraction

On peut imaginer d'introduire un champ mécanique sous forme de vibrations. Les vibrations réduisent les forces de frottement entre le produit à épandre et les parois de la trémie. Ceci déstabilise les voûtes et facilitent l'écoulement du produit à l'intérieur de la trémie.

Illustration :

Système à choc d'air : des conduites d'alimentation en air sous-pression sont espacées régulièrement le long des parois à l'intérieur de la trémie. Les chocs d'air alternatifs et répétés déstabilisent les voûtes et empêchent celles-ci de se former.



1.5.3.3 Pour en savoir plus sur les méthodologies d'innovation

<u>Centres de compétences :</u>

Nom	Contact (noms, adresse, téléphone, mail)	Nature de l'aide possible
- Laboratoire de Mécanique et Ingénieries (LaMI)	Grigore GOGU : grigore.gogu@ifma.fr	Conseil

<u>Outils logiciels</u>

<table>
<tr><th>Nom de l'outil</th><th>Intérêt</th><th>Comment se le procurer</th></tr>
<tr><td>Goldfire</td><td rowspan="2">- optimiser la conception d’un système technique
- résoudre les contradictions techniques et physiques
- résoudre les problèmes complexes</td><td>http://www.invention-machine.com/</td></tr>
<tr><td>Innovation WorkBench</td><td>http://www.ideationtriz.com/new/iwb.asp</td></tr>
<tr><td>Méthode d’aide à l’innovation MAL’IN</td><td>- adapter la méthode TRIZ pour un usage par des non-spécialistes</td><td>http://www.trefle.u-bordeaux1.fr/malin/</td></tr>
</table>

1.5.4 Utiliser des principes d'éco-conception

1.5.4.1 Choix des matériaux et composants

Le choix d'un matériau pour un produit, repose avant tout sur la fonction technique à remplir.

Si plusieurs choix sont techniquement possibles, le concepteur pourra s'inspirer des règles suivantes :

Règles pour le choix d'un matériau	Annexes et outils associés	Commentaires
- Respecter les réglementations sur l'usage des substances dangereuses au niveau du produit et de ses composants, au niveau des procédés de fabrication	***Annexe n°6*** du guide : - **Information concernant le Règlement REACH**	La réglementation des substances est en rapide évolution. Elle peut constituer un frein à la mise sur le marché d'un produit. Il importe de maintenir une veille permanente sur la réglementation des substances dangereuses et de maîtriser leur usage dans les produits
- A fonction équivalente, choisir le matériau le plus léger	- Base de données de matériaux	Les épandeurs sont des engins mobiles. La masse à transporter est un facteur significatif d'impact environnemental.
- A fonction équivalente, choisir les matériaux et procédés associés en fonction de leur impact environnemental	***Outils n°3*** du guide : - **Base de donnée d'impact environnementaux matériaux et process**	L'outil 4 du guide contient des données sur les matériaux et procédés les plus couramment utilisés pour les engins d'épandage. Ces données peuvent être utilisées pour comparer l'impact de deux solutions matériaux+ procédés. La méthode à utiliser est décrite dans la première partie de cet outil

1.5.4.2 Architecture du produit

La manière dont les composants et sous-ensembles vont être assemblés peut être déterminante pour le recyclage du produit en fin de vie (recyclage des matériaux et/ou des composants).

D'une manière générale, l'énergie nécessaire au recyclage d'un matériau ou d'un composant est inférieure à l'énergie nécessaire pour sa fabrication. Le recyclage est donc un moyen efficace d'économiser des ressources.

Pour définir l'architecture d'un composant ou sous ensemble d'un produit, le concepteur peut s'appuyer sur les règles suivantes :

Règles pour le choix d'un assemblage	**Annexes et outils associés**	**Commentaires**
Choisir les matériaux en fonction des scénarios de fin de vie appliqués aux matériels d'épandage	***Annexe 7*** du guide : • **Scénarios de fin de vie des matériels agricoles**	Panorama général des filières de traitement des matériels agricoles A retenir : Très bon recyclage des métaux. EN revanche, les plastiques, mousses, caoutchoucs, composites sont recyclés en faible quantités jusqu'à présent – généralement incinérés ou envoyés en décharge
	Outil n°4 du guide : - **Compatibilité des aciers au recyclage**	Grille de compatibilité des aciers. A prendre en compte dans le cas d'assemblages non réversibles d'aciers de différentes nuances
	Outil n°5 du guide : - **Compatibilité des matières plastiques au recyclage**	Grille de compatibilité des plastiques. A prendre en compte lorsque la conception nécessite d'utiliser plusieurs plastiques
	Outil n°6 du guide : **Efficacité du recyclage selon les matériaux assemblés**	Cotation d'un assemblage par rapport à sa difficulté à être recyclé en fonction de la nature des matériaux assemblés
Concevoir des assemblages performants	-	-
	Outil n°7 du guide - **Grille d'aide au choix d'un mode d'assemblage**	Approche multicritère pour guider vers des solutions d'assemblage

1.6 ETAPE 5 : SUIVRE L'EVOLUTION DES INDICATEURS

Les objectifs sont définis dans le cahier des charges d'éco-conception.

Au cours de l'étape 5, le BE suit l'évolution des objectifs en fonction des choix de conception, par exemple à l'occasion des revues de projet.

Il enregistre les difficultés rencontrées.

1.7 ETAPE 6 : ECO-EVALUER LE MATERIEL RECONÇU

1.7.1 Principe

C'est à cette étape du projet que l'on va vérifier que les choix de conception permettent d'atteindre les objectifs fixés dans les cahiers des charges établis à l'étape 3.

Pour les projets arrivant en phase de validation et qui prennent la directement la démarche à cette étape, il n'y a pas eu de cahier des charges. L'éco-évaluation proposée est décrite à l'étape 2. Elle pourra permettre de positionner la machine à partir des indicateurs proposés.

1.7.2 Mode opératoire

Quoi ?	• Eco-évaluer le nouveau matériel
Quand ?	• Après la conception – dès que l'on dispose d'un prototype et tant que la solution finale n'est pas validée
Qui ?	• Voir Etape 2
Comment ?	• ***Calculer et interpréter les valeurs obtenues d'indicateurs technologiques et de service rendu*** et expliquer les moyens mis en oeuvre pour permettre à l'opérateur de garantir le niveau de performance • ***Calculer les impacts au moyen de l'outil d'ACV simplifié*** (dans le cas de boues) • ***Reprendre le cahier des charges réalisé à l'étape 3 et vérifier l'atteinte des objectifs***
Modèles et Outils ?	• Voir Etape 2

1.8 ETAPE 7 : FAIRE UN BILAN – DECLARER LES PERFORMANCES

1.8.1 Principe

La solution finale est validée. Les Objectifs du cahier des charges sont atteints.

On va rédiger la notice, affiner les résultats des évaluations, et préparer les éléments en vue de déclarer les performances du nouveau matériel.

1.8.2 Mode opératoire

Quoi ?	• Faire un bilan et communiquer
Quand ?	• Lors de la mise en fabrication du produit
Qui ?	• BE
Comment ?	• ***Rédiger le manuel utilisateur*** • ***Déclarer les performances*** Un modèle de fiche est proposé dans ce guide à titre indicatif. Voir ***modèle n°7*** : o **Fiche d'auto-déclaration**

1.8.3 Rédiger le manuel utilisateur

Un des aspects important à cette étape concerne la rédaction de la documentation relative à l'usage des machines et ce pour deux raisons essentielles :

- La documentation doit fournir à l'utilisateur toutes les informations nécessaires à un bon usage de la machine
- La documentation doit fournir à l'utilisateur toutes les informations nécessaires à un bon réglage des paramètres d'épandage

Les 4 points suivants doivent être particulièrement soignés dans le manuel d'utilisateur :

1.8.3.1 Les conditions d'épandage et les performances à attendre :

Avertir l'utilisateur sur les fonctions de la machine :

Matières à épandre pour lesquelles la machine est conçue, conformément à la définition du périmètre (voir ETAPE 1).

Les plages d'utilisation du matériel (capacités minimales et maximales) en fonction de la nature du produit sont à préciser dans un tableau comportant les débits, les doses, largeurs de travail, vitesses d'avancement (capacités minimales et maximales). Ces informations doivent prendre en compte un usage durable du matériel.

L'utilisateur doit tenir compte de l'état du sol :

Conditions limites d'utilisation liées aux risques de compaction des sols et à l'orniérage. Le tassement superficiel et l'orniérage sont liés à la pression d'interface entre la roue et le sol (masse divisée par la surface de contact).

Le tassement profond est lié à la charge sur la roue et très important au delà de 3 tonnes par roue (voir IT_1, IT_2 et IT_3).

- Contrainte au sol (Force au contact pneu/sol par unité de surface) - (en daN/m² ou bar) –
- Préciser l'humidité du sol limite (limoneux et argileux) pour laquelle le matériel est conçu, compte tenu du train roulant dont il est équipé.
- Rappeler le message suivant : **Attendre le ressuyage du sol**

Savoir apprécier les conditions météorologiques :

Avertissements divers à l'utilisateur liés aux pertes ammoniacales (valorisation des unités fertilisantes) et aux nuisances olfactives (risques de problèmes de voisinages)

- Le vent : Vitesse limite et direction du vent (par rapport aux habitations voisines). Un avertissement doit être porté à la connaissance de l'utilisateur afin de lui rappeler le risque de nuisance généré par l'emploi de certaines matières à épandre, selon le dispositif d'épandage mis dont est équipé le matériel. Spécifications particulières pour épandage de matières légères dans des conditions de vents forts

- L'hygrométrie de l'air influe sur la volatilisation d'azote ammoniacal épandu (pertes d'éléments fertilisants). La température de l'air influe sur la volatilisation d'azote ammoniacal épandu (pertes d'éléments fertilisants)

Savoir mesurer les Indicateurs de Services Rendus :

Performances mesurées au travers des ISR (indicateurs de services rendus) et éventuellement des IT (indicateurs technologiques) constituent des atouts mesurés de vente.

1.8.3.2 L'aide au réglage et à la vérification de la dose.

Savoir régler sa machine :

L'utilisateur est tenu d'obtenir une dose par la réglementation et son plan prévisionnel de fertilisation. Le constructeur doit lui fournir tous les éléments utiles et nécessaires au bon réglage en fonction de la matière à épandre dans le manuel. Les indications utiles seront reportées sur des décalcomanies.

Connaître les interactions entre différents paramètres :

Quatre paramètres sont nécessaires à la maîtrise du travail. (voir $ID_{1\ \text{à}}$ ID_7): La dose par hectare, le débit instantané, la largeur de travail, la vitesse d'avancement.

Il convient donc de fournir les abaques, règles, index, et/ou calculateurs et asservissements nécessaires à la prise en compte et ou à l'ajustement des consignes suivantes.

- Réglage du débit en lien avec les autres paramètres où en grandeur réelle (exemple tonne/minute) : Une ouverture de vanne, une pression, une vitesse de tapis, doivent pouvoir être reliées à un débit (masse / unité de temps).
- Réglage ou prédiction de la largeur optimale de travail. L'ouverture de volet, l'usage de déflecteurs, leur orientation… .de la largeur doivent pouvoir être reliées à un une largeur de travail (largeur entre passages) exprimée en mètres.
- Le lien entre les différents paramètres doit être facilement compréhensible et efficient.

Savoir choisir la dose en fonction du produit :

Les matériaux épandus ont des caractéristiques physiques hétérogènes. Une procédure et/ou un dispositif de vérification de la dose doivent être explicités dans le manuel.

Réaliser l'adéquation débit/correction de dose :

L'information des équipements de pesée ou de mesure de débit présents doit être valorisée dans les procédures de réglage et de vérification/correction de la dose.

1.8.3.3 La circulation routière hors épandage.

Savoir évaluer le poids total transporté :

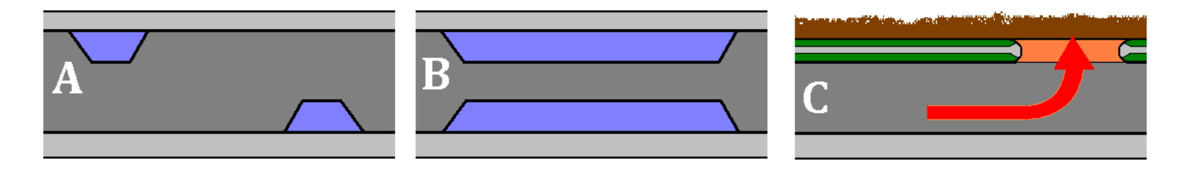
Poids maximal de matière pouvant être chargée, dont masse/essieu, le cas échéant en fonction de la nature du produit, à comparer au PTAC en tenant compte des équipements d'épandage et accessoires embarqués pour respecter les règles du code de la route (le nombre circulations routières non conforme est très important et est lié pour une bonne part à ce point). La responsabilité pénale du conducteur est engagée en cas d'accident corporel. Il convient de contribuer à une information concrète et réelle de l'utilisateur.

Adapter la machine aux aménagements urbains :

Type et dimensions d'accès/d'espaces (parcelles ou aménagements urbains) pour lesquels la machine n'est pas adaptée (faire des schémas).

- La capacité de franchissement des chicanes (A)-selon leur espacement longitudinal et transversal-, des largeurs d'«écluses» (B) et autres aménagements urbains

- Largeur d'entrée de champs nécessaire en fonction de la largeur de la voirie (C).



Adaptation de la machine aux obstacles :

Description des obstacles potentiels pour lesquels la machine est adaptée (hors culture) : Franchissement de dévers, de marche, de butte (entrées de parcelles plus hautes ou plus basses que la voirie).

1.8.3.4 Autres informations

- ☐ Liste et description des Infrastructures/outils de chargement de matière pour lesquelles la machine est conçue
- ☐ Liste des opérations de préparation à réaliser
- ☐ Liste des organes nécessitant un entretien/une maintenance.
- ☐ liste des pannes (d'organes) qui déclenchent un arrêt de l'épandage et une maintenance niveau de diagnostic – mode de fonctionnement dégradés

Ces préconisations complètent et précisent les dispositions générales liées au marquage CE.

1.8.4 Déclarer les performances

L'affichage des performances peut se faire en quatre parties complémentaires :

Première partie :

Présentation du périmètre de conception de la machine

Deuxième partie :

Valorisation des indicateurs de service rendus et des indicateurs technologiques obtenus sur le produit réalisé

Troisième partie :

Valorisation des améliorations (voire des innovations si cela est pertinent) techniques sous un angle environnemental – en établissant le lien entre le choix technique et la fonction de service rendu

Quatrième partie : pour l'épandage des boues

Présentation des impacts évalués au moyen du calculateur d'ACV simplifié pour le scénario de référence en prenant soin de préciser les hypothèses importantes

Utiliser le ***modèle n°7*** du guide pour vous aider :

- **Fiche d'auto-déclaration**

2

Les enjeux de l'éco-conception

2.1 LES ATTENTES DES UTILISATEURS

2.1.1 Les utilisateurs finaux

Le contexte sociétal :

L'adoption progressive de l'idée de développement durable par l'ensemble de la société, la nécessaire reconquête de la qualité de l'environnement, la bonne gestion, les réglementations, amènent les agriculteurs et les prestataires de l'agriculture à être des contributeurs très actifs quant aux progrès environnementaux. Facilement incriminés par la société civile et les médias quant à leurs pratiques, ils adoptent des méthodes de plus en plus diversifiées et recherchent la précision et les innovations technologiques permettant de réduire les impacts environnementaux.

L’apport agronomique :

Les boues, les fumiers, les lisiers sont des fertilisants organiques à utiliser en priorité pour couvrir les besoins des plantes en azote phosphore et potasse. L'apport au bon moment et à la juste dose sur la culture permet la valorisation agronomique et économique optimale de ces fertilisants et la préservation du milieu naturel. De plus, se faisant, l'utilisateur final améliore aussi le fonctionnement biologique des sols (moindre sensibilité aux maladies telluriques donc moindre dépense phytosanitaire) et contribue à maintenir la teneur des sols en matière organique stable.

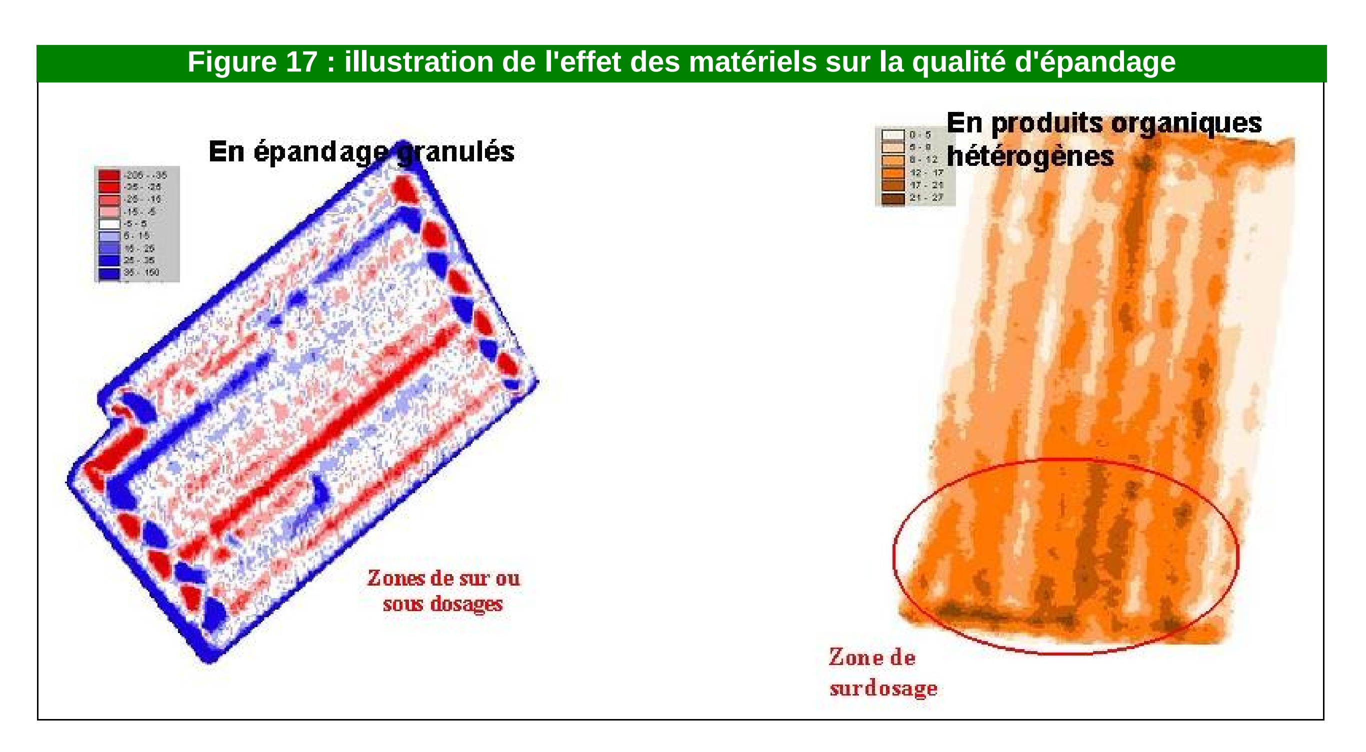
La sélection d'un matériel d'épandage performant :

Apportés en excès ou de façon inadaptée, ces fertilisants organiques impactent la production végétale (perte de rendement) et l'environnement (émissions, ruissellement…). Les différents matériels contribuant au chantier d'épandage constituent les moyens d'application. D'eux dépend la qualité de l'apport. Leur adéquation à l'usage, leurs performances accentuent ou atténuent l'impact du fertilisant apporté.

Les limites actuelles :

Un état des lieux (2004 – 2005) réalisé à la demande de l’ADEME montre qu'en ce qui concerne les épandeurs de composts et produits organiques hétérogènes, seulement 40% des machines respectent tous les critères de régularité d’épandage, décrites dans les normes européennes.

Figure 17 : illustration de l'effet des matériels sur la qualité d'épandage



Des attentes élémentaires à satisfaire :

La figure ci-dessus met en évidence des hétérogénéités d'apports au champ liées aux difficultés de maîtrise de la dose en transversal et longitudinal, transposées sur des parcelles.

Ces hétérogénéités sont sources de pollutions diffuses et ponctuelles et d'une grande difficulté à intégrer ces éléments dans un plan de fumure agronomique maîtrisé, ce qui n'encourage pas les agriculteurs à accepter les sous produits organiques issus des industries agroalimentaires ou de stations d'épuration.

Par ailleurs, ces matériels génèrent leurs propres impacts : La dégradation des sols par le tassement, très sous estimé, l'orniérage et le ruissellement qui en découlent, les émissions liées au carburant.

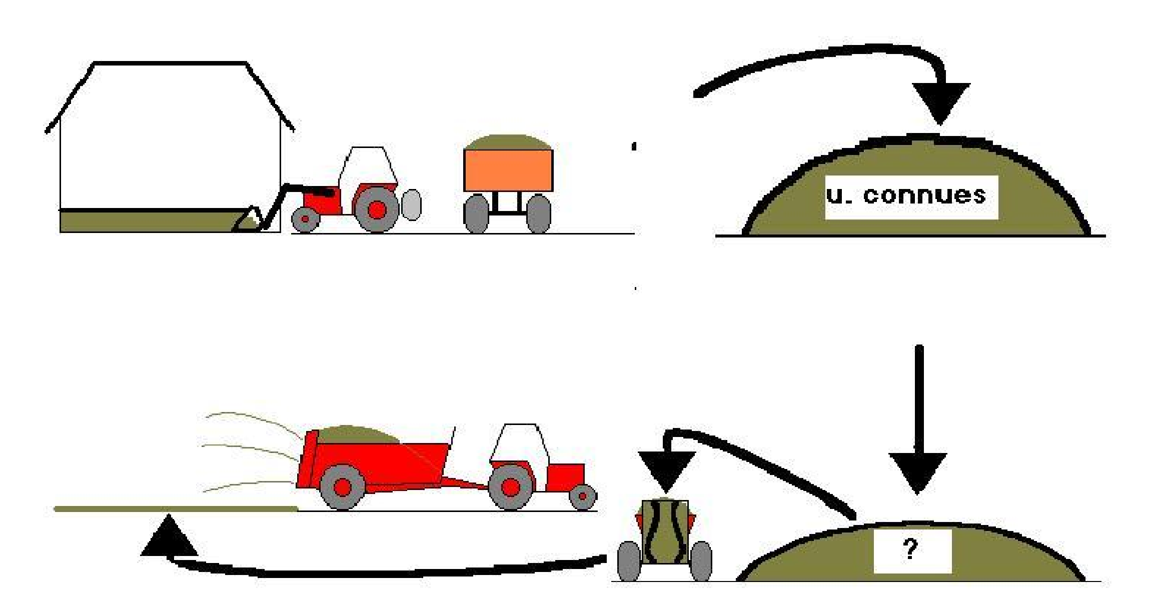
Les défis à relever par les constructeurs :

- L'épandage des matières solides.

- L'épandage des matières liquides

L’épandage des matières solides

La relation molette/débit :



Pour régler le matériel, l’agriculteur doit appliquer une dose en tonne par hectare déterminée par le Plan Prévisionnel de Fertilisation, sans connaître l'évolution de la masse et du volume du produit après stockage, sans connaître la relation entre la graduation de la molette de réglage et le débit de l'épandeur (absence d'abaques)

La répartition longitudinale :

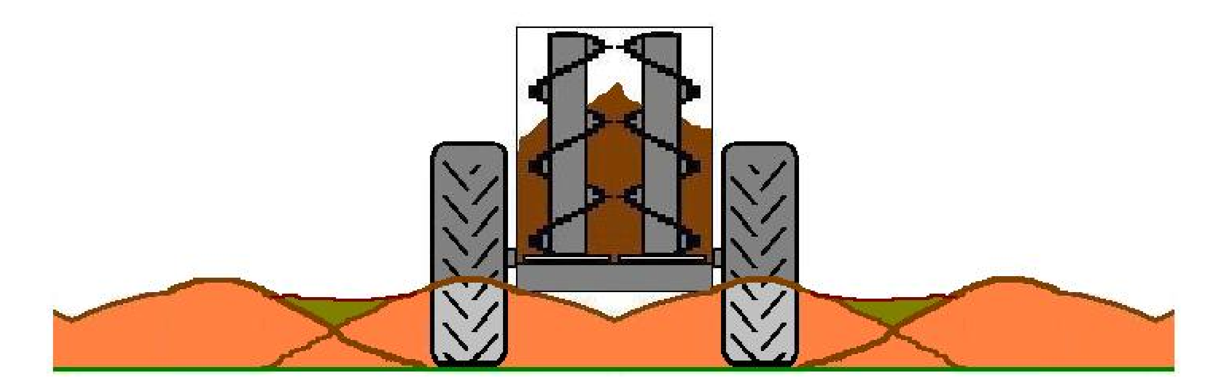






L'épandage d'un chargement est marqué par trois phases : amorçage, palier de débit et décroissance. Cette lente décroissance impacte fortement la répartition longitudinale et doit bénéficier de progrès importants.

La relation matériel d'épandage / produit épandu :



Pour ces mêmes matériels, la dose et la répartition sont liées au choix de la largeur de travail (recouvrement). La largeur optimale de travail dépend de la réponse du matériel aux caractéristiques physiques du produit.

L'épandage des matières liquides

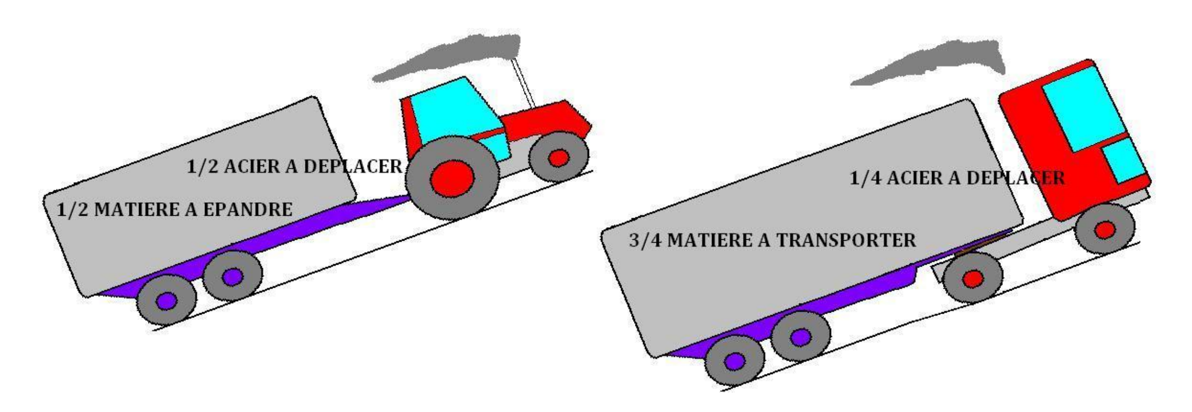
L'adéquation puissance/répartition :



Valoriser pleinement la puissance du tracteur conduisant l'épandeur de liquide nécessite de pouvoir disposer d'une plage de débit suffisamment large sans altération de la répartition transversale obtenue.

Un réglage de la dose directement exprimé en unités fertilisante serait appréciable.

Le rapport poids contenu/contenant :



Il faut déplacer 1t d'acier pour épandre 1t de produit liquide. Cela coûte du carburant et génère de la compaction. En comparaison, un semi remorque transporte 3t de produit pour 1t d'acier.

L'optimisation du matériel existant :



Optimiser les enfouisseurs et les pendillards pour en réduire les coûts de maintenance augmentera les investissements des utilisateurs et améliorera les globalement les pratiques d'épandages (réduction de la volatilisation)

La sélection d'unités fertilisantes lors de l'épandage :

Pour réaliser un progrès significatif en matière environnementale, notamment par usage de produits organiques en substitution à des engrais chimiques, il est important que le raisonnement s'appuie sur les besoins des cultures receveuses en unités fertilisantes à l'ha (N,P,K). Une piste intéressante consisterait à pouvoir régler les doses à épandre directement sur la base des unités fertilisantes composant la matière à épandre.

Les limites de l'épandage en ligne.

L'épandage en ligne atténue les pertes d'ammoniac par volatilisation. Cependant, la maintenance dispendieuse et malaisée, le risque de bouchage constituent un frein au développement de ce mode d'application.

En conclusion :

Au delà du bénéfice attendu de l'amélioration des technologies existantes, les agriculteurs et leurs prestataires sont à la recherche de nouveaux concepts, de ruptures technologiques qui leur permettent de réduire les prix de revient et d'exploitation. Ce critère devient prioritaire par rapport au montant de l'investissement.

2.1.2 Les opportunités pour les fabricants

Les besoins du marché :

Selon des statistiques de 2005[10], le marché mondial du machinisme de type « agricole » est évalué à 40 milliards d'euros, dont 40 % pour l'Europe des 15. Au deuxième rang derrière les États-Unis, la France représente près du quart du marché européen à 15, devant l'Allemagne et l'Italie. Il est rappelé que le marché intérieur des machines dites « agricoles » représente 3,6 milliards d'euros et 22 000 emplois en 2004.

Plus spécifiquement, le marché des équipements d'épandage au sens large est important : le marché annuel français d'épandeurs de solides hétérogènes (composts, …) est de 4600 machines (7600 pour l'Europe), 2700 machines pour l'épandage de liquides chargés (lisier et boues liquides de petites stations d'épuration) et environ 200 épandeurs de boues pâteuses de station d'épuration, la vente des distributeurs de granulés solides (boues organiques granulées et engrais minéraux) est d'environ 15 000 machines par an.

Les tendances :

La quantité de machines produites depuis 2000 est en baisse continuelle. Parallèlement, le prix unitaire des machines est en forte augmentation, notamment pour les matériels d'épandage de liquides, ce qui est justifié par deux tendances : un accroissement de la taille des machines et une évolution technologique continue. Autrefois réservée aux industriels nationaux, la part de marché laissée à l'importation s'accroît.

Le poids du réglementaire :

Le marché domestique étant important, les constructeurs nationaux se sont longtemps contentés de satisfaire une demande, se satisfaisant elle même de l'offre intérieure. Ailleurs en Europe, des constructeurs ont été contraints, pour se développer, de proposer des matériels en dehors de leurs frontières. Ils ont ainsi bénéficié d'une expression de la demande plus diversifiée et plus exigeante du fait de pressions "environnementalistes et réglementaires" plus fortes et plus précoces.

[10] BROCARD, P., DE GUYENRO, T., 2005 - Le machinisme agricole en France : Au cœur de la mondialisation, l'innovation au service du développement durable - Le 4 pages des statistiques industrielles, Nº 202 - février 2005, SESSI - Service des études et des statistiques industrielles

La labellisation du réglementaire :

Du point de vue de l'application d'exigences environnementales d'épandage, la France est en retard par rapport à d'autres pays de l'Europe du Nord.

L'Allemagne, en particulier, a développé une politique très offensive de labellisation de la qualité environnementale de ses machines d'épandage : Les industriels usent abondamment dans tous leurs documents – publicités des logos « Fokus test » et « Signum test » (délivrés par un organisme indépendant : le DLG) pour indiquer « la transparence » des performances de leurs machines.





L'indispensable innovation :

Le contexte réglementaire évolue aussi en France: l'obligation d'enfouissement des effluents liquides exigée en Allemagne et Danemark pourrait un jour s'étendre à la France - la loi sur l'eau entre en vigueur – les exigences sont toujours plus fortes de la part du secteur de la distribution (système de management de la qualité – référentiel NF V01-007[11], …) – un Plan Végétal Environnement (PVE) de modernisation des équipements a été lancé par le Ministère de l'Agriculture en 2006. Ainsi, le Sessi[12], dans l'édition 2008 de son "Panorama de l'industrie en France" évoque, au chapitre des objectifs d'innovation en machinisme agricole, la prise en compte du développement durable et d'une plus grande sécurité pour l'utilisateur.

Le rôle moteur de la concurrence :

Ainsi, courtisés par les fournisseurs étrangers, les utilisateurs découvrent des technologies jusque là inconnues en France et élargissent de ce fait le champ de leurs demandes. Le moteur de l'innovation technologique est donc partiellement alimenté par la concurrence étrangère. Si l'importation augmente, la croissance du chiffre d'affaire des entreprises nationales, notamment à l'exportation, exige la mise à niveau technologique dans un premier temps, puis une accélération de l'innovation.

---

[11] NF V01-007 (décembre 2004) Système de management de la qualité et de l'environnement - Modèle pour la maîtrise des engagements réciproques entre les producteurs et une structure organisée de production de biens alimentaires pour répondre aux attentes des clients et parties intéressées

[12] Service des Etudes et Statistiques Industrielles

L’intelligence agraire :

L'agriculture de précision (ou intelligent farming) est l'enjeu numéro un chez les constructeurs. La période actuelle exige de préserver l'environnement, en dosant au plus juste au bon moment et au bon endroit, avec une maîtrise des coûts de production. Sur le marché concerné par le projet ECODEFI, la notion de précision doit en premier lieu être attachée aux moyens donnés à l'utilisateur pour régler une dose et bien répartir le fertilisant. Les aides financières sont un outil des politiques publiques. Le PVE finance, selon les régions, certains équipements améliorant la maîtrise des apports de fertilisants. Aujourd'hui déterminés sur avis d'experts, les équipements éligibles pourraient, à terme, nécessiter une éco-labellisation.

L’éco-labellisation simple et efficace :

L'éco-labellisation se met en place en Europe (à l'image des USA, du Canada, de la Corée, …) avec l'ETV : Environmental Technology Verification system. Ce label visera à favoriser les avantages concurrentiels des produits industriels, équipements, process et services qui montrent de réelles avancées en matière d'approche objective des réductions d'impacts. La démarche se veut simple, peu coûteuse et rapide afin de fluidifier les conditions de transaction par un apport d'informations complémentaires aux parties prenantes, dans une relation client-fournisseur en "Business to Business".

Des normes européennes trop fragmentaires :

De plus, les travaux proposés par ECODEFI devraient permettre de faire évoluer les normes d’évaluation des performances environnementales des matériels : au cours de ces dernières années (2001 à 2003), le Comité Européen de Normalisation (CEN) a produit une collection de normes d’application non obligatoire définissant les performances environnementales minimales que devraient respecter les appareils d’épandage. Toutefois, ces normes sont encore trop fragmentaires et portent sur des niveaux de détail trop fins (sous-systèmes technologiques). En conséquence, les résultats obtenus sur les unités fonctionnelles pertinentes permettront de proposer des évolutions de normes allant dans le sens d’une meilleure prise en compte de l’évolutivité des technologies ; Car aujourd’hui, passé au crible des normes européennes, un matériel d'épandage qui mesurerait en direct la teneur en azote d’une boue chargée pour faire varier le dosage en fonction d’une carte de préconisation ne serait pas mieux noté qu’un appareil standard sans système de régulation de ce type.

En conclusion :

La démarche d’éco-conception appliquée aux technologies d’épandage permet de répondre à un enjeu majeur : la réduction de l’impact des épandages sur le milieu naturel et anthropique. Ce document est destiné à aider les concepteurs de matériels d'épandages à mieux identifier les priorités à prendre en compte pour satisfaire aux attentes présentes et futures de leurs clients. L'application des méthodes proposées est une opportunité supplémentaire d'accentuer l'avantage concurrentiel.

2.2 L'ECO-CONCEPTION : UNE APPROCHE CROISEE.

D'après la norme ISO 14062, l'éco-conception est une démarche de conception qui prend en compte les impacts environnementaux des produits et services en amont des décisions de conception. Elle s'appuie sur une analyse des problématiques environnementales :

"Multi-étape",

C'est-à-dire, qui prend en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit (extraction des matières premières, production, distribution (transports), utilisation, fin de vie)

"Multicritère",

C'est-à-dire, qui prend en compte l'ensemble des facteurs d'impacts sur l'environnement. (consommation de matières premières, d'eau, et d'énergie, rejets dans l'eau, les sols et l'air, production de déchets…)

Cette approche croisée (multicritères et multi-étapes) est nécessaire pour s'assurer que la minimisation des impacts environnementaux soit réalisée sans déplacer ces impacts d'une étape du cycle de vie à une autre, ou sans en créer de nouveaux.

2.3 L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE.

L'Analyse du Cycle de Vie (ou ACV) est une méthode normalisée (AFNORa 2006; AFNORb 2006) étudiant les impacts environnementaux potentiels d'un produit ou d'un système à chaque étape de son cycle de vie, autrement dit du "berceau jusqu'à la tombe".

Les 4 étapes de l'ACV :

Selon la norme, une ACV se réalise 4 étapes : définition et objectif du champ de l'étude, Inventaire, Evaluation des impacts et Interprétation.

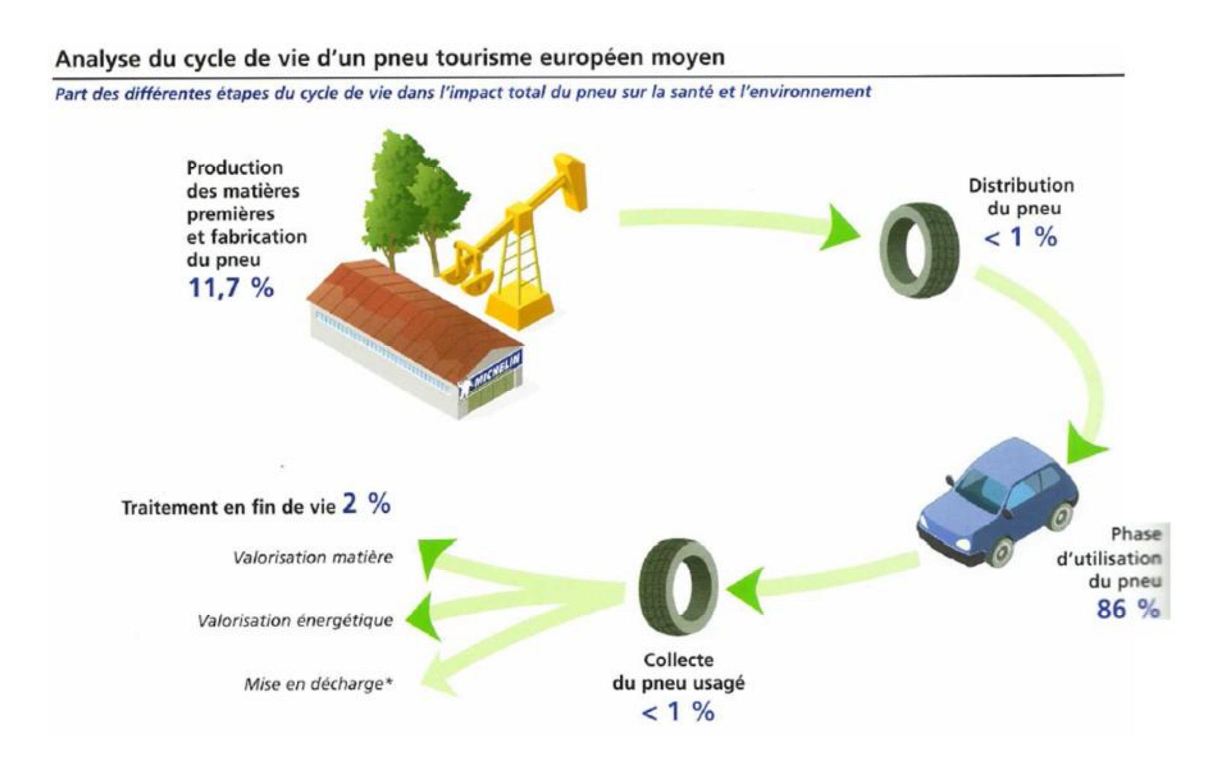
L'ACV est couramment utilisée pour comparer des produits ou des systèmes afin d'identifier ceux qui génèrent le moins d'impacts sur l'environnement (comparaison des différentes filières d'élimination des boues d'épuration, comparaison de voitures utilisant différents combustibles à des voitures électriques, comparaison d'ampoules à incandescence classiques et d'ampoules « nouvelle génération »…).

Les transferts de pollution :

L'ACV permet également d'identifier d'éventuels transferts de pollution entre une écotechnologie innovante et la technologie classique qu'elle remplace et de créer des profils ou bilans environnementaux pour les technologies étudiées.

Illustration : Exemple de résultat d'ACV appliqué à la conception de pneus (Source Michelin)

Quelle phase du cycle de vie du pneu génère le plus d'impact sur l'environnement ? :

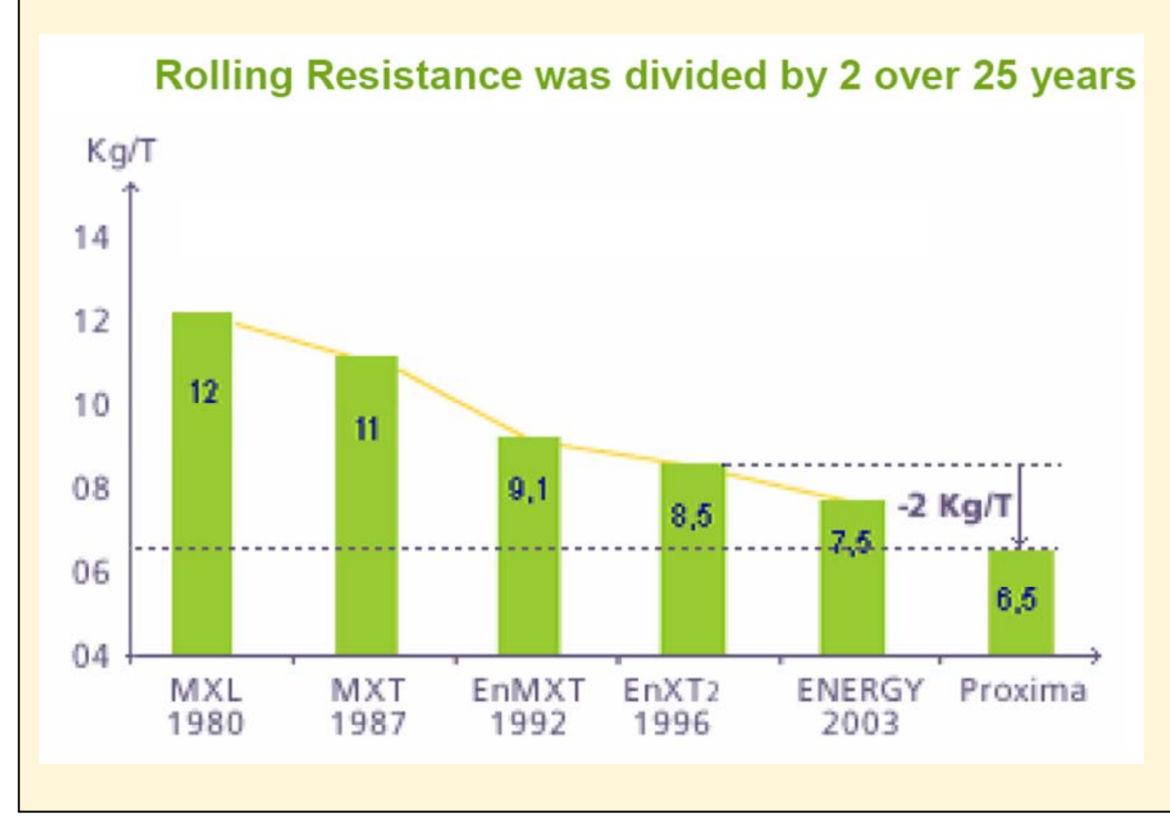


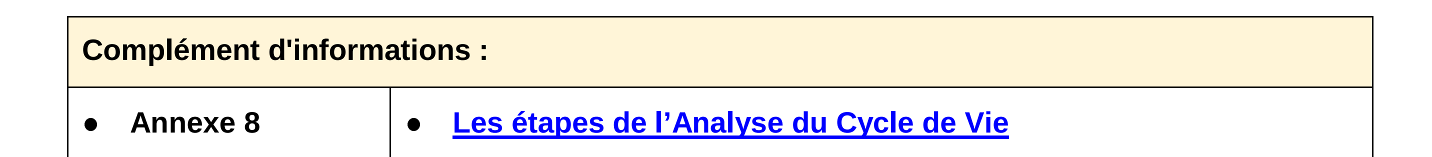
Dans cet exemple, l'ACV permet de montrer que la phase d'utilisation d'un pneu représente 86% de l'impact environnemental total de son cycle de vie, loin devant les étapes de fabrication et de fin de vie.

C'est le phénomène de "résistance" au roulement" engendré par le pneu qui est à l'origine de ce résultat. La résistance au roulement peut en effet être traduite en terme de consommation d'énergie supplémentaires du véhicule.

Diminuer cette résistance au roulement, tout en conservant des performances équivalentes d'adhésion, est donc un enjeu important pour les concepteurs de pneus.

La figure ci-dessous met en évidence l'évolution des performances de résistance au roulement de pneus au cours des 25 dernières années : (Source Michelin)





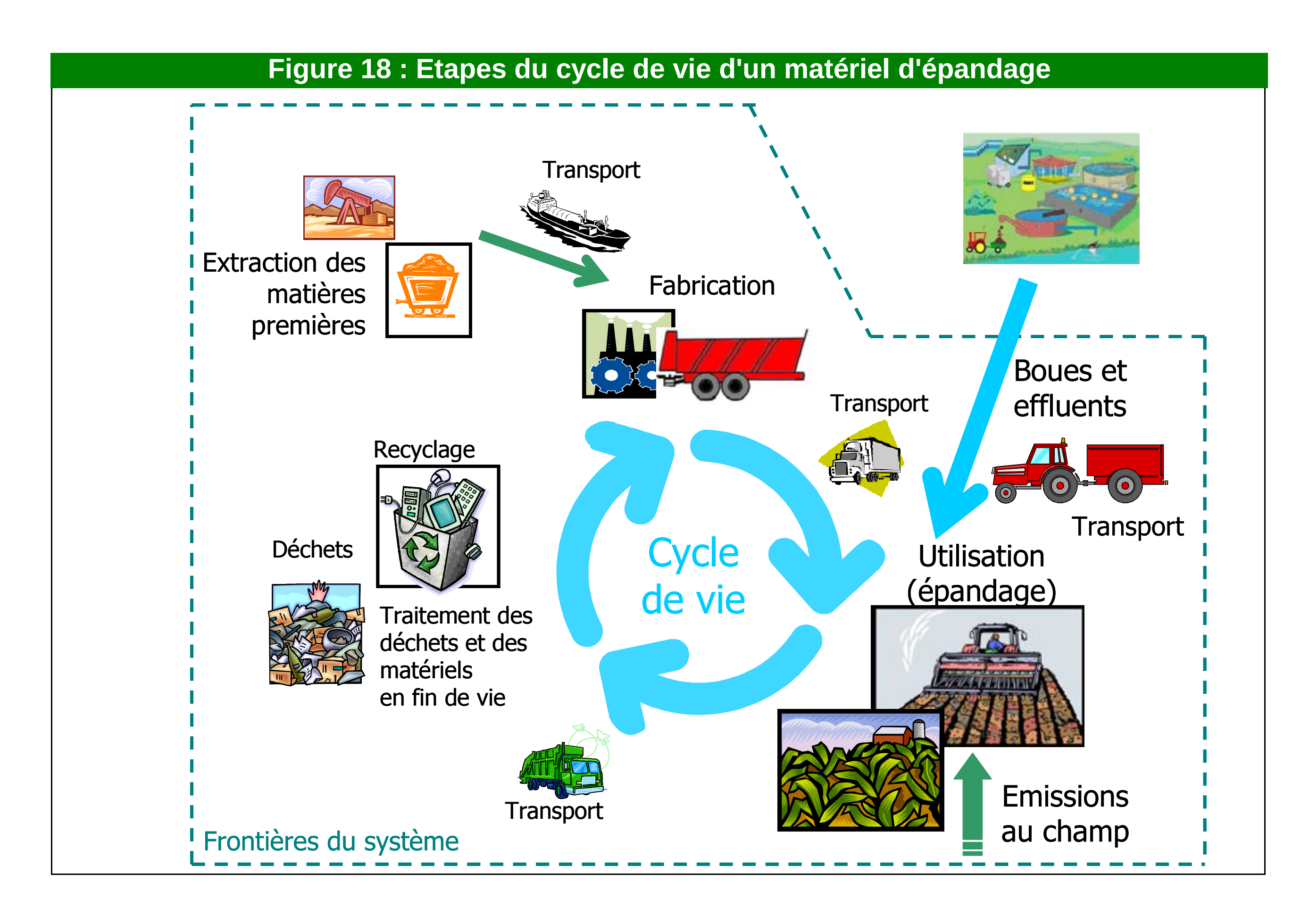
Complément d'informations :	
• **Annexe 8**	• **Les étapes de l'Analyse du Cycle de Vie**

2.4 L'IMPACT DU MATERIEL D'EPANDAGE SUR L'ENVIRONNEMENT.

2.4.1 Cycle de vie d'un matériel d'épandage

On peut représenter les étapes du cycle de vie "typique" d'un matériel d'épandage de la manière suivante :

Figure 18 : Etapes du cycle de vie d'un matériel d'épandage



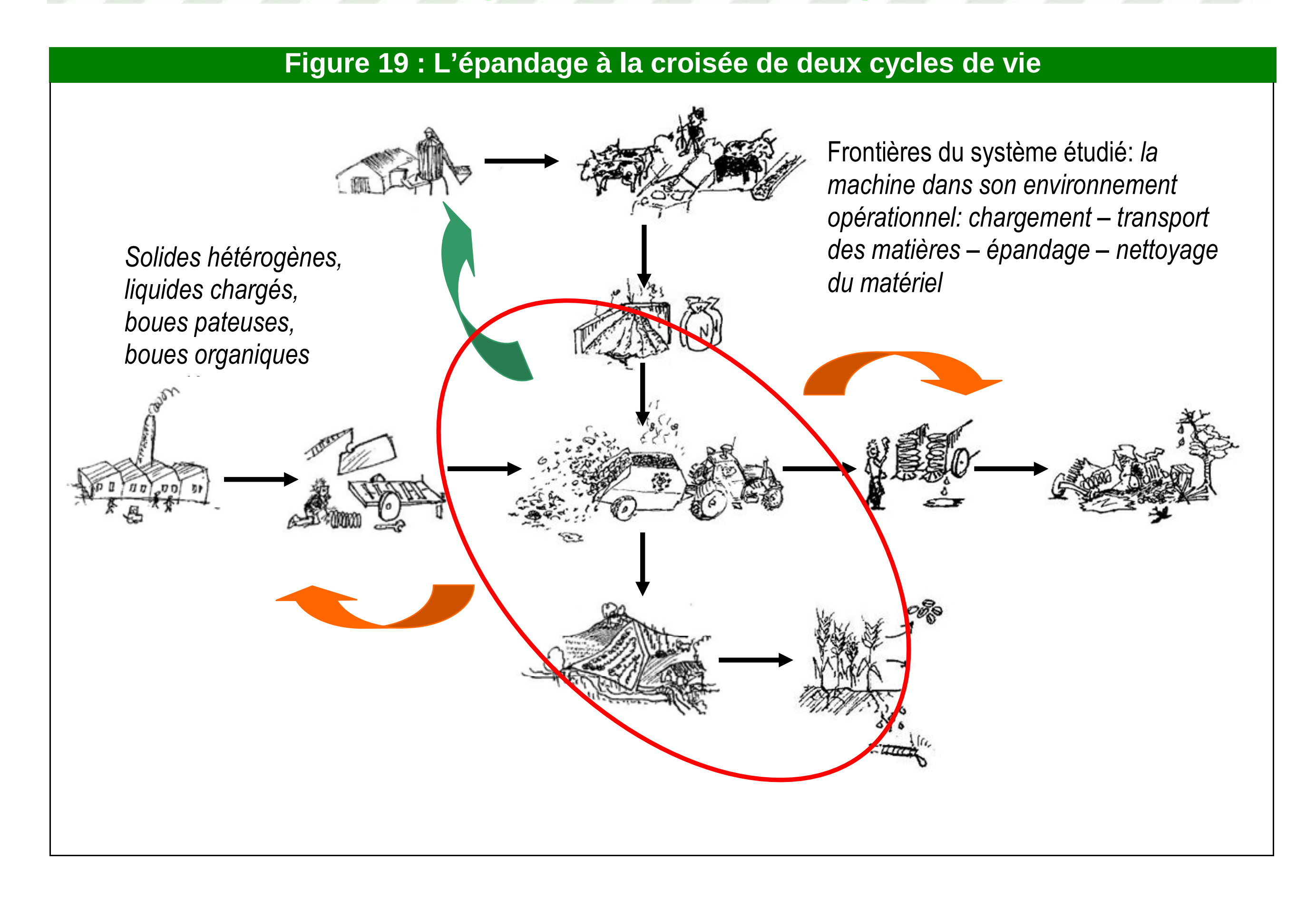
Le cycle de vie d'un matériel d'épandage est constitué de 4 grandes étapes : la fabrication, le transport (ou distribution), l'utilisation puis la fin de vie (mise en décharge ou recyclage).

Pour chacune de ces étapes du cycle de vie, les machines d'épandage interagissent avec l'environnement au travers de mécanismes qui vont consommer de la matière et/ou de l'énergie et émettre des substances dans divers compartiments (air, eau, sol).

2.4.2 Les cycles de vie croisés.

L'utilisation d'une méthode comme l'ACV dans le cadre de l'épandage est à la croisée de deux grands types de cycle de vie : le cycle de vie de la machine d'épandage et le cycle de vie du produit à épandre. L'analyse du cycle de vie doit donc tenir compte à la fois des performances technologiques des machines mais également de leur impact direct et indirect sur l'environnement.

Figure 19 : L'épandage à la croisée de deux cycles de vie



2.5 ENJEU ENVIRONNEMENTAL PRINCIPAL DE L'EPANDAGE : L'ETAPE D'UTILISATION

Toutes les étapes du cycle de vie des systèmes d'épandage sont importantes d'un point de vue environnemental et peuvent faire l'objet d'une attention particulière au niveau de l'éco-conception.

Toutefois, les ACV réalisées dans le cadre du projet ECODEFI ont montré que la phase d'utilisation est celle qui générait les impacts environnementaux les plus significatifs (pollution des eaux, des sols, de l'air).

En effet, l'analyse des résultats des ACV[13] du projet Ecodefi a montré que la partie la plus impactante pour l'environnement était due aux émissions liées à l'apport des boues au sol. Ces émissions ont un impact très important sur l'acidification (volatilisation de NH_3), l'eutrophisation (lessivage des nitrates et des phosphates) et le réchauffement climatique (production de N_2O en situation d'hypoxie des sols), la toxicité (ETM[14], CTO [15]).

---

[13] Les impacts ont été caractérisés avec la méthode CML 2000 baseline 2 développée par l'Université de Leiden.

[14] Eléments Traces Métalliques

[15] Composé Traces Organiques

Choisir le véhicule en fonction de la distance

L'analyse des résultats a également confirmé que plus les chantiers d'épandage sont importants (en terme de quantités épandues) et distants du lieu de production, plus la contribution de la partie matériel (couple tracteur – matériel d'épandage en phase logistique ou d'épandage) aux impacts devient faible comparée à celle du **transport par camion des boues**, ce dernier impactant très fortement sur les différentes toxicités terrestre, aquatique et humaine, la consommation des ressources naturelles, la photo-oxydation et la destruction de la couche d'ozone.

Les conséquences des caractéristiques techniques

A la vue des résultats des ACV du projet Ecodefi, nous pouvons affirmer que les efforts d'éco-conception des machines d'épandage doivent principalement porter sur la phase d'utilisation de la machine et plus particulièrement sur les caractéristiques techniques ayant des conséquences agroenvironnementales plus ou moins fortes en terme de risques (lessivage des nitrates, volatilisation de l'ammoniac…), ces derniers ayant eux-mêmes des conséquences sur les impacts environnementaux étudiés en ACV (effet de serre, eutrophisation, acidification…).

2.5.1 Epandage et matières

La fonction principale des matériels d'épandage est "**d'épandre de la Matière**". Les risques associés à l'épandage sont donc nécessairement liés à la composition de la matière à épandre. Il s'agit d'une donnée d'entrée à prendre en compte par le concepteur.

Le calcul de la quantité efficace :

Les matières organiques épandues sont d'une très grande variabilité tant d'un point de vue physique (liquide, pâteux, solide, sec, pulvérulent…), que des composantes agronomiques (les teneurs en N peuvent varier de quelques kg / t à épandre à plus de 100 kg / t), que de la dose à l'ha (de 2t/ha à près de 40t/ha). Elles peuvent représenter des risques environnementaux très variés de par leur composition (présence ou non de CTO, ETM…), leurs périodes d'épandage...

Dans tous les cas, l'agriculteur devra **enregistrer la dose** et **justifier de l'utilisation agronomique du produit** en fonction des objectifs culturaux qu'il prévoit pour sa parcelle. C'est la quantité d'azote efficace apportée qui est généralement le paramètre pris en compte pour le calcul de la dose. Cette dernière comprend la totalité de l'N minéral et la part d'N organique minéralisable sur la période d'absorption de la culture. Toutefois, dans certains cas, le phosphore ou les ETM peuvent être des paramètres limitant la dose à apporter.

Connaître le statut administratif des matières à épandre

Avant tout apport, il faut donc connaître le statut administratif de la matière à épandre car les obligations réglementaires liées à l'épandage ne seront pas les mêmes selon qu'elles soient considérées comme « engrais », « amendement » ou « déchet ».

Il importe également de prendre en compte les obligations décrites dans les diverses réglementations départementales des directives Nitrate qui limitent les dates et les périodes d'épandage mais également les zones d'épandage non autorisées (bords des cours d'eau…).

- **Pour plus d'information sur les caractéristiques des matières à épandre, reportez vous à l'outil n°1 :**

Complément d'informations :	
Outil n°1	• Tableau de composition des matières à épandre
Autres documents :	• Guide "les bonne pratiques d'épandage du fumier"; Chambres d'Agriculture de Bretagne – novembre 2007 télécharger le guide en cliquant sur le lien : http://www.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/07849/$File/Guide%C3%A9pandageFUMIERSommaire.pdf?OpenElement
	• Guide "les bonnes pratiques d'épandage du lisier"; Chambres d'Agriculture de Bretagne – novembre 2007 télécharger le guide en cliquant sur le lien : http://www.bulletinduvegetal.synagri.com/ca1/PJ.nsf/TECHPJPARCLEF/10251/$File/LISIER2.pdf?OpenElement

2.5.2 Les marges de progrès pour de nouvelles machines

Les effets induits de l'épandage sont multiples

La mise en œuvre d'un matériel d'épandage présente un certain nombre de risques pour l'environnement qui sont étroitement liés à la nature même du système utilisé.

L'apport au sol de produits organiques est générateur de risques. Ils sont sociétaux (comme les odeurs), liés à la santé humaine (comme le transfert de pathogènes du sol à l'eau) et environnementaux. Les risques environnementaux peuvent être de diverses natures :

- Aggravation de l'effet de serre (réchauffement climatique) lié aux dégagements de CO_2 et surtout de N_2O, 296 fois plus impactant.
- Epuisement des ressources naturelles par consommation inutile de ressources non renouvelables (phosphates, pétrole.....) ou érosion et perte de fertilité des sols.
- Dégradation des milieux naturels par eutrophisation des eaux douces et/ou acidification des milieux.
- Perte de la biodiversité par, entre autre, l'acidification des milieux naturels.

Nous ne pouvons pas à ce jour quantifier précisément tous ces impacts et dommages (ou conséquences). Il est évident que les critères et les risques s'inter-croisent (relations de cause à effet).

Pour en savoir plus sur les risques et impacts environnementaux, reportez vous à ***l'annexe 5*** :

Complément d'informations :	
Annexe 5	• Description des risques liés à l'épandage et des impacts environnementaux associés

De l'observation de terrain à la conception des machines :

Le tableau suivant présente la liste des risques environnementaux identifiés dans le cadre du projet ECODEFI en les associant à des paramètres de la machine. (remarque : certaines émissions associées à ces risques sont également identifiées dans le tableau) :

Tableau 1 : Liens entre critères observables d'impacts et voies d'amélioration de la conception					
Critère observable d'impact	**Risque de facteur 1**	**Risque de facteur 2**	**Conséquences environnementales et de santé humaine**	**Voies d'améliorations possibles pour la conception de la machine**	**Voies d'améliorations possibles pour l'utilisation de la machine**
Orniérage	**Ruissellement (érosion)**	**Transfert vers le milieu naturel de MO, phosphore pathogènes humain et phytosanitaire. Perte d'éléments fertilisants (P) et de sol**	**Santé humaine Eutrophisation (Perte de qualité des écosystèmes) Epuisement des ressources naturelles**	**Minimiser le rapport de largeur d'ornière / largeur travaillée (2) Pneu basse pression, éviter les profils d'ornière en V Effaceur de traces Réduire les poids à vide des véhicules**	**Travailler en sol bien ressuyé (Risque maximal en sol de sable pauvre en argile mais ces derniers se ressuient aussi les plus vite). (1) Aménager l'espace (haie) Travailler perpendiculairement à la pente**
Dépassement de la dose/ha (Excès d'N) Mauvaise répartition (Sur et sous dosages localisés)	**Baisse de rendement des cultures Perte d'éléments fertilisants par lessivages des nitrates**	**Apport d'N aux rivières et nappes phréatiques (Dégradation de la qualité de l'eau potable et développement d'algues vertes)**	**Eutrophisation (Perte de qualité des écosystèmes) Epuisement des ressources naturelles**	**Mettre la bonne dose au bon moment et bien répartie avec une machine bien réglée pour le produit à épandre.**	**Mettre la bonne dose (plan de fumure) au bon moment et bien répartie avec une machine bien réglée pour le produit à épandre (Prendre en compte les prévisions climatiques : ne pas épandre avant un risque fort d'orage)**
Apport au sol de métaux lourds et de CTO	**Si ruissellement (érosion) transfert de toxicité du sol vers le milieu naturel Transfert de toxicité du sol au végétal (cultures légumières)**		**Santé humaine**	**.**	**Respect des normes et des plans d'épandage. Ne pas épandre de produits chargés en zone à risque. Ne pas épandre de produits liquides chargés dans des pentes**
Tassement des sols en surface (20/30 cm)	**Ruissellement Dégagement N_2O**	**Perte de potentiel agronomique Perte d'éléments fertilisants**	**Eutrophisation (Perte de qualité des écosystèmes) Perte de fertilité des sols Réchauffement climatique**	**Limiter la pression de l'interface (30 premiers cm) Pneus basse pression Réduire les poids à vide des véhicules**	**Travailler en sol bien ressuyé (Risque maximal en sol de limon pauvre en MO).**
Tassement des sols en profondeur	**Limite les transferts air eau dans le sol**	**Perte de potentiel agronomique (ou de fertilité) Aggravation de l'érosion**	**Eutrophisation (Perte de qualité des écosystèmes) Perte de fertilité durable (épuisement des ressources naturelles)**	**Limiter le poids par essieu Réduire les poids à vide des véhicules**	**Travailler en sol bien ressuyé (Risque maximal en sol de limon pauvre en MO).**
Dégagement de l'NH_3 par volatilisation	**Retombées acides**	**Perte d'éléments fertilisants**	**Acidification du milieu naturel (Perte de biodiversité)**	**Lisier : Le mieux : enfouissement direct (injection) Intermédiaire : pendillard Le moins bon : buses.**	**Lisier : Le mieux : enfouissement direct (injection), Intermédiaire : pendillard, Le moins bon : buses. Travail du sol immédiat après apport (fumiers, lisiers) Ne pas apporter par temps sec chaud et venteux (sauf enfouissement)**
Dégagement de N_2O par volatilisation	**Dénitrification de l'N du sol et de l'N apporté**	**Perte d'éléments fertilisants**	**Aggravation de l'effet de serre (N_2O : 296 fois plus impactant que le CO_2)**	**Eviter les tassements de sol sur les 30 premiers cm (privilégier les pneus base pression)**	**Ne pas faire d'apports en sol humide Limiter les fortes doses d'apports azotés (Préférer le fractionnement)**
Consommation d'énergie (fuel)	**Dégagement de CO_2, d'hydrocarbures imbrûlés (HC) de SO_2 et de NOx Libération de benzène**		**Santé humaine Réchauffement climatique Epuisement des ressources naturelles d'énergie non renouvelable Acidification du milieu naturel**	**Ne pas enfouir trop en profondeur. Réduire les poids à vide des véhicules Optimiser le transport.**	**Contrôler le tracteur Utiliser les bons rapports (relation doses / vitesse) Ne pas enfouir trop en profondeur. Optimiser le transport.**

(1) Rouler sur cultures en place comme les cipan = meilleur portance
(2) Compromis masse du produit transporté avec nombre et profondeur d'ornière

2.5.3 La fin de vie des matériels d'épandage

- Lorsqu'ils arrivent en fin de vie, les machines d'épandage sont plus ou moins facilement valorisables ou recyclables.
- L'impact environnemental est étroitement lié à la nature des processus qui seront utilisés (transport, broyage, tri, traitement ultime) et à leur performances en terme de taux de valorisation matière et énergie.
- Le grand nombre de composants, la variété des matériaux qui les constituent peuvent rendre leur démontage et leur retraitement complexe et coûteux.
- Par les choix qu'il va faire au niveau des matériaux et assemblages de composants, le concepteur peut influer directement sur l'efficacité du traitement en fin de vie et permettre ainsi d'optimiser la part de valorisation tout en réduisant les coûts de traitement.

Pour en savoir plus sur la manière dont les matériels sont traités en fin de vie, reportez vous à ***l'annexe 7*** :

Complément d'informations :	
Annexe 7	• Scénarios de fin de vie des matériels agricoles

2.6 LE REGLEMENTAIRE ET LA CONCEPTION DES SYSTEMES

La prise en compte de contraintes environnementales au travers des Normes et réglementations est de plus en plus marquée, à la fois pour les fabricants et les utilisateurs de matériel. Connaître et anticiper ces contraintes constitue un levier possible pour l'innovation en conception.

2.6.1 Textes normatifs et conception des systèmes.

- Liste des principaux textes réglementaires à prendre en compte pour la conception des matériels d'épandages (à la date de publication du guide) :

Thème	Références
• Emissions des moteurs	• ***Directive 77/537/CEE*** - mesures à prendre contre les émissions de polluants provenant des moteurs Diesel destinés à la propulsion des tracteurs agricoles ou forestiers à roues • ***Directive 97/68/CEE puis Directive 2001/63/CE*** - mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers. • ***Directive 2000/25/CE puis Directive 2005/13/CE*** - mesures à prendre contre les émissions de gaz polluants et de particules polluantes provenant des moteurs destinés à la propulsion des tracteurs agricoles ou forestiers.
• Circulation sur les voies publiques - véhicules agricoles catégories: REA, SREA et MIAR	***Code de la route -*** Livre 3 (Le véhicule), Titre 1 (Dispositions techniques). Les REA correspondent aux remorques sans report de charges (plateaux), les SREA ou semi remorques agricoles exerçant un report de charge maximal de trois tonnes sur le tracteur et les MIAR sont des machines remorquées comme des presses ou covercrops. • Chapitre 1er : dispositions générales et définitions. • Chapitre 2 : poids et dimensions. • Chapitre 3 : éclairage et signalisations. • Chapitre 4 : pneumatiques. • Chapitre 5 : freinage. • Chapitre 6 : organes de manœuvre, de direction et de visibilité • Chapitre 7 : dispositifs et aménagements particuliers. • Chapitre 8 : énergie, émissions polluantes et nuisances

Thème	Références
• Exigences essentielles de santé et de sécurité relatives à la conception et à la construction des machines	• ***Code du travail*** - Règles techniques de conception – Annexe 1 de l'article R 4312-1 (article R 233-84 de l'ancienne numérotation). A partir 29 décembre 2009 la directive Machine (voir Directive 2006/42 du 17 mai 2006 et Décret 2008-1156) est d'application obligatoire. L'annexe 1 - Exigences essentielles de santé et de sécurité relatives à la conception et à la construction des machines - se substitue à l'annexe 1 de l'article R 4312-1.
• Compatibilité électromagnétique des équipements électriques et électroniques	• ***Décret n°2006-1278 du 18 octobre 2006*** relatif à la compatibilité électromagnétique des équipements électriques et électroniques • Décret n° 2009- du 20 juillet 2009
• Risque lié à la pression, supérieure à 0,5 bar	• ***Directive équipements sous pression*** (Directive 97/23/CE du 29 mai 1997 – Décret 99-1046 du 13 décembre 1999).

- Liste des principaux textes normatifs à considérer pour la conception des matériels d'épandages (à la date de publication du guide) :

Thème	Références
• Emissions des moteurs	• Essai ISO 8178 portant sur les moteurs alternatifs à combustion interne et sur le mesurage des émissions de gaz d'échappement (parties 1 à 11)
• Sécurité – épandeurs de fumier – épandeurs de lisier	Deux normes européennes sont relatives à la sécurité. Ces normes ne sont pas d'application obligatoire; le constructeur peut utiliser des méthodes qui lui sont propres pour parvenir à la réalisation des exigences essentielles. Toutefois, l'application de ces normes dite harmonisées donne présomption de conformité au Code du Travail (jusqu'à la date du 29 novembre 2009) • ***NF EN 690*** : Décembre 1994 Matériel agricole, Epandeurs de fumier Sécurité • ***NF EN 707*** : Septembre 1999 Matériel agricole, Epandeurs de lisier Sécurité

Thème	Références
• Risques pour l'environ-nement. - méthodes d'essai	Deux normes européennes sont relatives aux risques pour l'environnement. Elles proposent des méthodes d'essai relatives à chaque machine. Les recommandations de ces normes ont été reprises et complétées dans le cadre du projet Ecodéfi qui propose un ensemble d'indicateurs de performances environnementales • ***NF EN 13080*** de 2003-04-01 - Matériel agricole - Épandeurs de fumier - Protection de l'environnement - Prescriptions et méthodes d'essai • ***NF EN 13739 (parties 1 et 2)*** de 2003-05-01 - Matériel agricole - Distributeurs d'engrais solides en nappes et centrifuges - Protection de l'environnement

2.6.2 Contraintes et opportunités

Les utilisateurs de machines d'épandage sont soumis à de nombreuses contraintes réglementaires. Bien prises en compte, ces contraintes sont susceptibles d'ouvrir de nouveaux champs de développement pour la conception des machines.

- **Liste des principaux textes réglementaires applicables aux utilisateurs de machines d'épandage[16] (à la date de publication du guide) :**

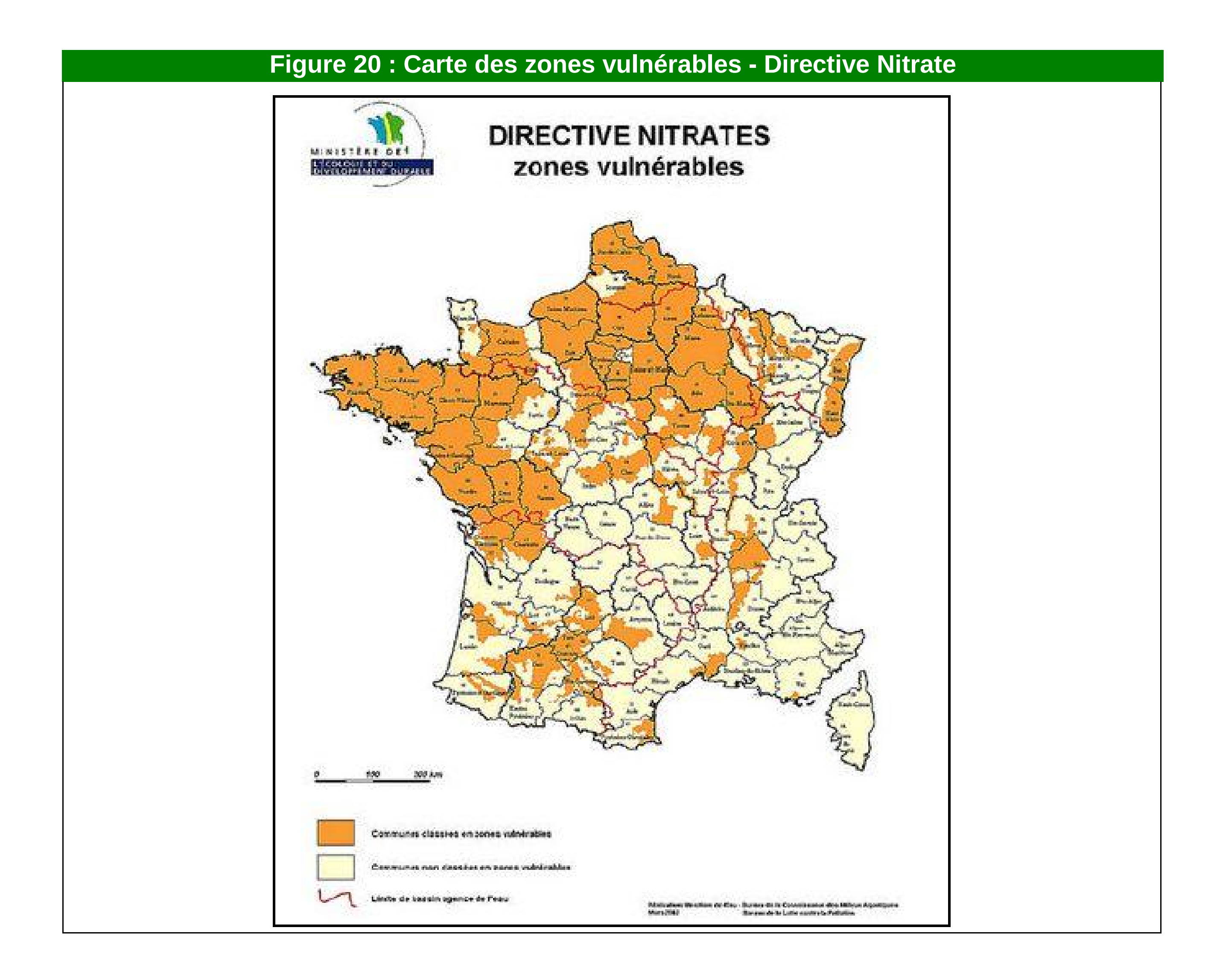
Thème	Références	Documents de référence sur le sujet
Fertilisants et déchets : • Règle d'équilibre de la fertilisation N par un calcul des doses dans le cadre de l'application d'un plan prévisionnel de fertilisation. • Règle de dates d'application. • Règle de distance vis à vis de l'eau et des tiers. • Règle d'enregistrement des pratiques • Calcul d'un plan prévisionnel de fertilisation	• **Arrêté du 1er août 2005** définissant les zones vulnérables où des limites d'apports sont prescrites (voir la carte ci-après) Si les épandages se font sur des zones non vulnérables, (voir carte), il importe pour les déjections de se référer aux prescriptions et code de bonnes pratiques : • **Réglementation ICPE[17] et arrêtés du 07/02/2005** • **RSD** : (Règlement sanitaire départemental)	• www.ineris.fr/aida/ • www.legifrance.gouv.fr/ Rubrique : Réglementation Pour les arrêtés départementaux voir les sites des Préfectures + N° du département

[16] Remarque : la réglementation destinée aux utilisateurs de machine est complexe, pour plus d'information, contacter les organismes compétents ou consultez les ouvrages proposés

[17] Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

Thème	Références	Documents de référence sur le sujet
	Si les épandages se font sur des zones vulnérables, (voir carte) en plus des prescriptions des ICPE, les épandages sont soumis à • **La directive 91/676/CEE du Conseil**, (directive nitrates) concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles Chaque préfecture départementale a publié des arrêtés (actuellement les 4eme) qui déclinent les obligations sur leurs zones vulnérables.	
	En cas d'installations soumises ou non soumises à la réglementation des ICPE les règlements sanitaires départementaux (de type circulaire du 9 août 1978) s'appliquent à l'ensemble des producteurs de déchets	
• **Règles d'utilisation des boues** et mise en place d'un dispositif de contrôle de la qualité des boues de station d'épuration et des sols d'épandage	• **Loi sur l'eau n°92.3 du 3/01/1992** • **Décret « Procédures » n°93-742 du 29/3/1993** • **Décret « Nomenclature » n°97-1133 du 8/12/1997** • **Arrêté du 08/01/98** fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, pris en application du décret n°97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. Ces textes sont codifiés dans le code de l'environnement aux articles R 211-26 à R 211-45 ; • **Circulaire du 18 avril 2005** relative à l'épandage agricole des boues de stations d'épuration urbaines - recommandations relatives aux contrôles du respect de la réglementation pour les services de police de l'eau et à l'information du public, BO MEDD n°2005-12 du 30 juin 2005	• www.ineris.fr/aida/ • www.legifrance.gouv.fr/ Rubrique : Réglementation
• **Cas particulier des sous-produits animaux**	• **Règlement CE N°1774/2002** et en particulier la **note de service DGAL/SDSPA/N 2008 8137 du 16 juin 2008,** qui définit 3 classes de sous-produits avec des règles d'utilisation, de transformation et de traçabilité.	• http://europa.eu/legislation/ • http://agriculture.gouv.fr/

Figure 20 : Carte des zones vulnérables - Directive Nitrate



- **Autres textes normatifs pertinents pour la conception des matériels d'épandages (à la date de publication du guide) :**

Normes génériques produit	Références
• Amendements minéraux basiques	• NF U 44-001/A2
• Matières fertilisantes ayant des caractéristiques mixtes : Engrais / Amendement calcique	• NF U 44- 203/A1
• Engrais (y compris organique)	• NF U 42-001
• Amendement organique	• NF U 44-051
• Compost contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux	• NF U 44-095
• Autres matières fertilisantes soumises à des exigences communautaires - Exemple : « engrais CE »	• Règlement CE 2003/2003

Statut de la matière à épandre	Principe réglementaire	Observations
Déchet • Concerne les Producteurs de déchets (collectivités, industriels, éleveurs)	• Les Matières sont soumises à un plan d'épandage. • Le producteur est responsable de l'utilisation du déchet jusqu'à son retour au sol donc y compris l'épandage.	Voir réglementations ICPE et en particulier le plan d'épandage de l'élevage industriel ou de la collectivité émetteurs du déchet.
Produit • Concerne les fabricants de fertilisants	• Homologation ou normalisation obligatoire du produit • Le fabricant du fertilisant est responsable du produit jusqu'à sa mise sur le marché. L'épandage est donc de la responsabilité de l'agriculteur utilisateur.	**L'homologation** est la règle de base pour la mise sur le marché d'un produit spécifique (à défaut et de manière provisoire, une APV[18] peut être donnée). Le dossier est validé au cas par cas par le ministère de l'agriculture et depuis 3 ans par l'AFSA.

[18] Autorisation Provisoire de Vente



Les données et outils de la méthode

Tous ces outils sont téléchargeables au format word en cliquant sur le lien suivant : **https://ecodefi.cemagref.fr/resultats-et-publications/ delivrables**

Dans le paragraphe suivant nous présentons les outils de la méthode disponibles dans le guide en version papier. Les outils informatiques sont présentés dans la version informatique du guide.

Liste des données et outils :	
Outil n°1	• Tableau de composition des matières à épandre
Outil n°2	• Les grilles de hiérarchisation des indicateurs technologiques
Outil n°3	• Base de données d'impact environnementaux matériaux et process
Outil n°4	• Compatibilité des aciers au recyclage
Outil n°5	• Compatibilité des matières plastiques au recyclage
Outil n°6	• Efficacité du recyclage selon les matériaux assemblés
Outil n°7	• Grille d'aide au choix d'un mode d'assemblage

3.1 OUTIL N°1 : TABLEAU DE COMPOSITION DES MATIERES A E PANDRE

	Etat de la matière à épandre	Nature de matière à épandre	Fourchette de doses à épandre **mini** en T (ou M3) de MB/ha	Fourchette de doses à épandre **maxi** en T (ou M3) de MB/ha	MS	N	P2O5	Composition chimique moyenne critère agronomique **MS**, MO, Ntot, P2O5, K2O, CaO, MgO (% **ou** kg/t brut)	Moyenne Eléments Trace Métalliques Ar, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb Se, Zn (mg/kg de MS)	Présence possible de composés trace organique	Présence possible de pathogènes humain	Statut administratif du produit	Niveau de risque de dégagement d'ammoniaque
Solide dispersé	Sec pulvérulent	Farines	1	3	90%	**10%**	4%	90%, 70%, 10%, 4%,	abs de données	non	non	Engrais ou homologation	Faible
		Amendements calciques	0,3	18	95%	0	0	Contient du CaO et MgO	Teneurs très faibles	non	non	Amendement basique (NF U 44 001)	nul
		Scories phosphatées	0,3	1,5	98%	0	**de 12 à 16 %**	Peut contenir jusqu'à 30 % de CaO	Peut contenir des ETM en particulier du Cd	non	non	Engrais (NF U 42 001)	nul
	Sec granulé	Issue de centrifugation du lisier de porc	0,5	7	50,0 %	1,5%	**3,5%**	50 %, 25 %, 1.5%, 3,5%, 0.5 %, 3.5 %, 2 %,	2, 0.5, 12,350, 0.1, 12, 7, 4, 800.	Non	Oui	Engrais (NF U 42 001)	Faible
		Pellet de boue de station déshydraté	1	3	90,0 %	**4,5%**	**7,5%**	90%, 60 %, 4,5 %, 7,5 %, 0,4%, 4,5%, 0,9%	2, 5, 70, 300, 4, 30, 120, 3, 1000	oui	Oui	Homologation	Moyen
	Sec, vrac ou bouchonné	Fientes de volaille sèches	0,5	7	75,0 %	**3,0%**	**2,5%**	75%, 50 %, 3 %, 2.5 %, 2 %, 7.5 %, 1 %	1, 0.3, 8, 50, 0, 5, 2, 1, 400.	Non	Oui	Engrais (NF U 42 001)	Elevé
	Solide sec	Compost de fientes de volaille avec litière	4	10	55,0 %	**2,5%**	**2,2%**	55 %, 40 %, 25 kg/t, 2,2 %, 2 % ,1.5%, 0.5 %	1.4, 0.4, 14,130, 0.1, 13, 2, 1, 400.	Non	Non	Engrais (NF U 42 001)	Moyen

	Etat de la matière à épandre	Nature de matière à épandre	Fourchette de doses à épandre mini en T (ou M3) de MB/ha	Fourchette de doses à épandre maxi en T (ou M3) de MB/ha	MS	**N**	**P2O5**	Composition chimique moyenne critère agronomique MS, MO, Ntot, P2O5, K2O, CaO, MgO (% ou kg/t brut)	Moyenne Eléments Trace Métalliques Ar, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb Se, Zn (mg/kg de MS)	Présence possible de composés trace organique	Présence possible de pathogènes humain	Statut administratif du produit	Niveau de risque de dégagement d'ammoniaque
Solide divisé grossier	Solide sec	Fumier de volaille de chaire	4	10	55,0 %	**23 kg/t**	**20 kg/t**	55 %, 45%, 23 kg/t, 20 kg/t, 18 kg/t, 30 kg/t, 5 kg/t	Teneurs très faibles Cu : 80 Zn : 300	Non	Oui	Déchet : éventuellement norme amendement	Elevé
	Solide sec	Compost de déchets vert	7	50	40,0 %	**8 kg/t**	3 kg/t	40 %, 20 %, 8 kg/t, 3 kg/t, 5kg/t, 15kg/t, 2.5kg/t	4.5, 0.4, 20,40, 0.1, 13, 26, 0.4, 150	Non	Rare	Amendement organique (NF U 44 051)	Faible
	Solide sec	Compost de boue (MIATE[19]) avec déchets verts	4	10	55,0 %	11 kg/t	**23 kg/t**	55 %, 28 %, 11 kg/t, 23 kg/t, 7, kg/t, 40 kg/t, 5 kg/t	6, 1, 30, 110, 0,6, 21, 22, 1, 350	Oui	Rare	Compost de boue de station (NF U 44 095)	Faible
	Solide sec	Compost Urbain issus tri sélectif	7	50	55,0 %	**15 kg/t**	8 kg/t	55 %, 30 %, 15 kg/t, 8 kg/t, 7 kg/t, 30 kg/t 4 kg/t	2.5, 0.5, 19, 80,.2, 10, 30, 0.5, 450	Rare	Rare	Amendement organique (NF U 44 051)	Faible

[19] Matières d'Intérêt Agronomique Issues du Traitement des Eaux

	Etat de la matière à épandre	Nature de matière à épandre	Fourchette de doses à épandre mini en T (ou M3) de MB/ha	Fourchette de doses à épandre maxi en T (ou M3) de MB/ha	MS	**N**	**P2O5**	Composition chimique moyenne critère agronomique MS, MO, Ntot, P2O5, K2O, CaO, MgO (% ou kg/t brut)	Moyenne Eléments Trace Métalliques Ar, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb Se, Zn (mg/kg de MS)	Présence possible de composés trace organique	Présence possible de pathogènes humain	Statut administratif du produit	Niveau de risque de dégagement d'ammoniaque
Solide compact cohésif	Solide humide	Compost de fumier de bovin	7	50	33,0 %	**7 kg/t**	**4 kg/t**	33%, 21 %, 7 kg/t, 4 kg/t, 9 mg/t, 7 mg/t, 2 kg/t	Teneurs très faibles	Non	Rare	Amendement organique (NF U 44 051)	Faible
	Solide humide	Fumier de bovin pailleux	7	50	19,0 %	**5,3 kg/t**	2,3 kg/t	19 %, 16 %, 5.3 kg/t, 2.3,kg/t, 8kg/t, 5kg/t, 1.5 kg/t	Teneurs très faibles	Non	Oui	Déchet : éventuellement norme amendement	Moyen
	Solide humide	Fumier de Porc	7	50	30,0 %	**9 kg/t**	8 kg/t	30%, 23%, 9 kg/t, 8 kg/t, 14 kg/t 12 kg/t, 3 kg/t	Teneurs très faibles Cu : 90 Zn : 400	Non	Oui	Déchet : éventuellement norme amendement	Moyen
Produit pâteux	Pâteuse (matériel d'épandage fumier)	Fumier bovin mou	7	50	15,0 %	**4,3 kg/t**	2 kg/t	15%, 12 %, 4,3 kg/t, 2 kg/t, 5 kg/t, 3 kg/t, 1 kg/t	Teneurs très faibles	Non	Oui	Déchet	Moyen
	Pâteuse (matériel d'épandage fumier)	Boue chaulée de STEP	7	30	30,0 %	**9 kg/t**	**10 kg/t**	30 %, 18 kg/t, 9 kg/t, 10 kg/t, 1 kg/t, 90 kg/t, 1.5 kg/t	4, 2, 45, 280, 2, 25, 65, 3 , 650	Oui	Non	Déchet	Moyen
Liquide pompable	**Avec risque de bouchage**	Lisier de Bovins	15	100	10,0 %	**2,8 kg/t**	1,5 kg/t	10 %, 8 %, 2,8 kg/t, 1,5 kg/t, 2,7 kg/t, 2 kg/t, 0,5 kg/t	Teneurs très faibles	Non	Oui	Déchet	Moyen
	Sans risque de bouchage	Lisier de porc engraissement	15	100	7,0%	**5,8 kg/t**	3 kg/t	7 %, 5 %, 5.8 kg/M3, 3 kg/M3, 4.8 kg/M3, 4.4 kg/M3, 1.2 kg/M3	Teneurs très faibles Cu : 160 Zn : 860	Non	Oui	Déchet	Elevé
		Boue liquide égouttée de STEP	15	100	7,0%	**5 kg/t**	**3,3 kg/t**	7 % , 5 %, 3 kg/t, 3.3 kg/t, 0.9 kg/t, 2 kg/t, 0.5 kg/t	4, 2, 45, 280, 2, 25, 65, 3 , 650	Oui	Oui	Déchet	Moyen

3.2 OUTIL N°2 : LES GRILLES DE HIERARCHISATION DES INDICATEURS TECHNOLOGIQUES

3.2.1.1 Tableau d'aide à la hiérarchisation des indicateurs technologiques

Pour identifier les indicateurs technologiques pour lesquels le niveau de risque est maximal on peut utiliser le tableau proposé ci-dessous ou une note faible indique un risque ***très fort*** d'impact environnemental lié au matériel :

Figure 21 : Tableau d'aide à la hiérarchisation des priorités

Fonction de service rendu	Impacts environnementaux à considérer en priorité si note d'indicateur technologique faible	Conditions de risque maximum
Optimiser la consommation d'énergie.	Les exigences de puissance excessives entrainent : 1) Emission de GES et donc **effet de serre** 2) Consommation d'une **ressource non renouvelable**	
Epandre la bonne dose/ha	*C) <u>Le sur dosage :</u>* 1) **Eutrophisation** des milieux par lessivage (NO_3) ou ruissellement (NH_3, P_2O_5, matières en suspension) 2) Excès de fertilisant pour la culture (moins de rendement dû à la verse) 3) Dégagement de GES (N_2O) et donc **effet de serre.** 4) Consommation d'une **ressource non renouvelable** (azote donc énergie, P_2O_5, K_2O...) 5) Contamination des sols **(Ecotoxicité)**, si apport de produits contenant des toxiques (métaux lourds) *D) <u>Le sous dosage :</u>* 1) Perte de rendement	1**) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).** ***3) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/printemps)***
Assurer une bonne répartition	La mauvaise répartition provoque des sur doses et sous doses localisées et donc : 1) **Eutrophisation** des milieux par lessivage (NO^3) ou ruissellement (NH_3, P_2O_5, matières en supension) 2) Perte (ou excès) localisé de fertilisant pour la culture (moins de rendement) 3) Dégagement de GES (N_2O) et donc **effet de serre.**	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/printemps)*** ***3) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps)***

Risque fort, Risque intermédiaire, Risque limité

Suite figure 21 : Tableau d'aide à la hiérarchisation des priorités

Assurer un bon fractionnement de la matière	La présence de « paquets » crée des sur doses et des sous doses localisées et donc : 1) **Eutrophisation** des milieux par lessivage (NO_3). 2) Perte (ou excès) localisé de fertilisant pour la culture (moins de rendement) 3) Dégagement de GES (N_2O) et donc **effet de serre**	
Limiter le tassement du sol lors de l'épandage	L'excès de pression au sol, de surface tassée et de charge à l'essieu provoquent : 1) Perte de rendement pour la culture 2) Dégagement de N_2O et donc **effet de serre** 3) Compaction des sols si tassement profond. Favorise le ruissellement (cf voir plus loin)	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).*** ***2) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).*** ***3) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).***
Limiter le ruissellement des produits épandus	L'orniérage (profil et surface d'ornière) favorise le ruissellement qui entraine : 1) **Eutrophisation** des milieux (NH_3, P_2O_5, MES) 2) Perte de **ressources non renouvelables** (fertilisants) 3) Perte de fertilisants pour la culture (moins de rendement)	***1) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/printemps).*** ***2) Risque maximum dans les sols saturés en eau. (épandages d'hiver/ printemps).***
Limiter la volatilisation des matières épandues	La projection aérienne et l'enfouissement insuffisant favorisent la volatilisation qui entraine : 1) Dégagement de NH_3 (**acidification des milieux**). 2) Consommation d'une **ressource non renouvelable.**	***1) Risque maximum, par temps sec et chaud***
Limiter les émissions indirectes de la machine dans l'environnement	Les lubrifiants rejetés dans l'environnement génèrent des films huileux en surface de l'eau. 1) **Eutrophisation** des milieux.	

Risque fort, Risque intermédiaire, Risque limité

3.3 OUTIL N°3 : BASE DE DONNEES D'IMPACT ENVIRONNEMENT AUX MATERIAUX ET PROCESS

Tableau 2 : Métaux

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidifi-cation et eutrophi-sation terrestre	Occupation des sols	Acidifi-cation aquatique	Eutrophi-sation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg tri-éthylène glycol eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	
Fonte, 35% de recyclé, kg	1,89E+02	6,06E+01	2,27E-02	9,41E-03	5,92E-03	2,79E-05	1,43E+00	2,43E+01	5,24E-02	67,88
Acier non allié, 37% de recyclé, kg	1,46E+02	3,89E+01	2,01E-02	8,80E-03	5,28E-03	2,41E-05	1,42E+00	2,27E+01	1,62E-01	54,35
Acier faiblement allié, 37% de recyclé, kg	3,46E+02	1,08E+02	3,13E-02	1,21E-02	7,67E-03	3,10E-05	1,71E+00	2,75E+01	8,02E-01	78,75
Acier inoxydable grade 304, 37% de recyclé Cr 18%, Ni 8%, kg	6,38E+02	5,69E+02	8,81E-02	4,25E-02	2,70E-02	7,39E-05	5,05E+00	8,12E+01	9,41E+00	289,83
Aluminium primaire, kg	1,06E+03	2,70E+02	1,51E-01	3,75E-02	5,42E-02	3,40E-04	1,25E+01	1,61E+02	2,81E+00	393,90
Aluminium pour fonderie, 80% de recycl, kgé	3,21E+02	1,30E+02	4,02E-02	1,67E-02	1,40E-02	7,87E-05	3,13E+00	4,33E+01	5,79E-01	103,83
Aluminium, pour corroyage, 10% de recyclé, kg	9,65E+02	2,45E+02	1,37E-01	3,46E-02	4,90E-02	3,07E-04	1,13E+01	1,45E+02	2,54E+00	356,12
Cuivre primaire, kg	1,77E+04	7,79E+03	7,49E-01	7,70E-02	3,91E-01	2,00E-04	3,50E+00	5,68E+01	1,03E+01	1571,02
Cuivre, 21% de recyclé, kg	5,62E+03	2,29E+03	2,67E-01	3,33E-02	1,25E-01	1,01E-04	1,94E+00	3,15E+01	2,08E+00	498,84
Zinc primaire, kg	2,75E+03	2,78E+03	1,42E-01	1,79E-02	4,42E-02	7,11E-05	3,27E+00	4,95E+01	3,15E-02	330,72

Tableau 3 : Polymères

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg TEG eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	Pt
PLA, kg	3,25E+02	3,83E+00	5,79E-02	1,17E+00	1,20E-02	1,49E-03	2,89E+00	5,37E+01	3,35E-02	92,49
ABS, kg	2,32E+02	2,71E+00	3,90E-02	3,40E-03	1,21E-02	2,06E-04	3,33E+00	9,85E+01	9,11E-03	176,87
Etanchéité bitume, kg	1,14E+02	2,74E+01	1,84E-02	1,64E-02	6,12E-03	2,33E-04	1,05E+00	5,03E+01	2,45E-02	56,66
PBT, kg	2,02E+01	8,96E-02	5,56E-02	1,97E-04	1,89E-02	1,66E-05	3,61E+00	1,01E+02	5,10E-04	155,32
SAN, kg	4,16E+02	2,74E+00	2,89E-02	3,35E-03	8,31E-03	2,67E-05	2,93E+00	9,52E+01	9,23E-03	113,55
Elastomère synthétique,kg	1,36E+02	3,32E+01	3,45E-02	1,94E-02	1,05E-02	1,35E-04	2,53E+00	9,05E+01	4,39E-02	112,96
PA6, kg	1,40E+02	2,90E+00	1,22E-01	5,23E-04	3,01E-02	3,99E-04	7,16E+00	1,25E+02	8,75E-04	210,47
PA6+GF, kg	1,84E+02	1,64E+00	1,03E-01	4,91E-04	2,80E-02	3,25E-04	6,12E+00	1,08E+02	6,64E-04	185,39
PC, kg	4,43E+01	4,73E+00	8,20E-02	3,70E-04	2,43E-02	3,42E-04	6,53E+00	1,10E+02	4,31E-04	201,38
PET bouteille, kg	1,25E+02	3,42E+01	3,45E-02	1,21E-02	1,06E-02	2,31E-03	2,73E+00	8,34E+01	7,11E-02	153,96
PEHD, kg	1,62E+01	5,26E-02	2,19E-02	1,19E-04	6,41E-03	4,93E-06	1,68E+00	7,78E+01	1,40E-04	89,43
PPS, kg	3,96E+03	1,14E+02	2,54E-01	3,13E-02	7,97E-02	1,23E-02	1,97E+01	7,76E+02	1,29E-01	1136,30
PP, kg	1,09E+01	4,69E-02	2,19E-02	9,19E-05	6,14E-03	1,35E-04	1,76E+00	7,58E+01	1,05E-04	90,44
HIPS, kg	6,22E+01	3,28E+00	3,89E-02	1,96E-04	1,18E-02	1,50E-05	2,98E+00	8,96E+01	6,94E-03	112,68
PVC, kg	4,55E+01	2,94E+00	2,51E-02	3,98E-04	5,66E-03	4,66E-05	1,88E+00	6,05E+01	3,14E-03	144,43
résine epoxy, kg	1,61E+00	1,91E-04	9,49E-02	2,53E-02	1,35E-02	4,13E-07	1,10E+00	2,36E+02	7,80E-04	190,07
PUR mousse flexible, kg	7,55E+01	8,51E+00	6,84E-02	3,89E-03	1,99E-02	9,96E-04	4,18E+00	1,01E+02	2,29E-02	159,60
PUR mousse rigide, kg	1,46E+02	9,14E+00	5,95E-02	3,67E-03	1,74E-02	6,19E-04	3,69E+00	1,02E+02	2,23E-02	144,61
SMC+GF25%,k g	3,86E+01	1,93E+00	3,29E-02	3,16E-03	9,61E-03	7,78E-06	6,52E-01	1,80E+01	1,56E-04	31,25

Tableau 4 : Verre

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg TEG eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	Pt
Verre plat +traitement de surface, m2	4,85E+01	1,24E+01	3,31E-02	9,78E-03	9,36E-03	4,85E-05	6,41E-01	1,50E+01	1,02E-01	31,45
Verre plat sans traitement de surface, m2	3,83E+01	9,20E+00	2,98E-02	6,00E-03	8,50E-03	4,45E-05	5,30E-01	1,29E+01	4,69E-02	26,99

Tableau 5 : Procédés Métaux

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg TEG eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	Pt
Matriçage à froid, aluminium, 1 coup	1,49E+02	2,20E+01	1,05E-02	2,17E-02	3,11E-03	5,58E-05	8,74E-01	1,57E+01	5,55E-03	26,69
Matriçage à froid acier, 1 coup	1,42E+02	2,06E+01	8,89E-03	2,13E-02	2,45E-03	6,90E-05	8,40E-01	1,39E+01	4,63E-03	23,83
Matriçage à haute température, 1 stroke/RER U	1,67E+02	2,76E+01	1,32E-02	2,22E-02	4,15E-03	5,81E-05	9,98E-01	1,84E+01	6,62E-03	31,89

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Matriçage à chaud, acier, 1 coup	1,53E+02	2,34E+01	1,10E-02	2,18E-02	3,33E-03	5,63E-05	8,12E-01	1,46E+01	5,80E-03	25,80
Emboutissage, acier, presse de 10000 kN , automode opération en kg de matière emboutie	1,13E+02	1,06E+01	4,14E-03	2,05E-02	8,73E-04	5,09E-05	2,92E-01	3,71E+00	3,06E-03	8,37
Emboutissage, acier, presse de 3500 kN, automode opération en kg de matière emboutie	1,13E+02	1,05E+01	4,12E-03	2,05E-02	8,68E-04	5,09E-05	2,91E-01	3,69E+00	3,05E-03	8,33
Emboutissage, acier, presse de 38000 kN, automode opération en kg de matière emboutie	1,13E+02	1,06E+01	4,14E-03	2,05E-02	8,75E-04	5,09E-05	2,93E-01	3,72E+00	3,06E-03	8,38
Emboutissage, acier, presse de 650 kN, automode opération en kg de matière emboutie	1,13E+02	1,05E+01	4,12E-03	2,05E-02	8,66E-04	5,09E-05	2,91E-01	3,68E+00	3,05E-03	8,32
Fabrication de tubes, acier en kg	4,48E+01	3,48E+00	3,61E-03	5,87E-03	1,09E-03	1,01E-05	3,60E-01	4,29E+00	1,27E-02	9,55
Usinage laser, métal, CO2-laser, 2000W en heure	5,74E-01	1,89E-01	9,13E-05	1,87E-05	3,25E-05	7,58E-08	6,70E-03	1,39E-01	2,25E-04	0,23
Usinage laser, metal, CO2-laser, 2700W en heure	6,98E-01	2,28E-01	1,13E-04	2,27E-05	4,01E-05	9,23E-08	8,30E-03	1,72E-01	2,33E-04	0,28
Usinage laser, metal, CO2-laser, 3200W en heure	7,35E-01	2,40E-01	1,19E-04	2,38E-05	4,24E-05	9,72E-08	8,78E-03	1,82E-01	2,35E-04	0,30
Usinage laser, metal, CO2-laser, 4000W en heure	8,84E-01	2,87E-01	1,45E-04	2,86E-05	5,15E-05	1,17E-07	1,07E-02	2,22E-01	2,45E-04	0,37

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Usinage laser, metal, CO2-laser, 5000W en heure	9,74E-01	3,16E-01	1,61E-04	3,15E-05	5,70E-05	1,29E-07	1,18E-02	2,46E-01	2,58E-04	0,40
usinage laser, metal, CO2-laser, 6000W en heure	1,02E+00	3,32E-01	1,70E-04	3,30E-05	6,01E-05	1,35E-07	1,25E-02	2,59E-01	2,61E-04	0,43
Laminage à froid feuille, aluminium, en kg	2,90E+01	6,46E+00	6,32E-03	1,40E-03	2,15E-03	1,11E-05	5,89E-01	1,10E+01	3,50E-02	17,97
Laminage à froid, feuille, acier inoxydable, en kg	6,41E+01	3,26E+01	1,01E-02	3,64E-03	3,23E-03	1,28E-05	5,65E-01	1,06E+01	4,88E-01	25,50
Laminage à froid, feuille, cuivre, en kg	2,72E+02	1,01E+02	2,37E-02	4,11E-03	9,55E-03	2,41E-05	1,16E+00	2,34E+01	8,55E-02	53,85
Laminage à froid, feuille, acier, en kg	3,79E+01	4,71E+00	4,85E-03	1,85E-03	1,37E-03	7,02E-06	3,45E-01	6,30E+00	2,08E-02	11,20
Laminage à chaud, acier, kg	2,38E+01	3,28E+00	2,84E-03	8,43E-04	8,03E-04	5,13E-06	2,68E-01	5,10E+00	1,21E-02	8,64
Extrusion de profilés en Aluminium, kg	5,90E+01	1,02E+01	1,15E-02	1,65E-02	3,84E-03	1,43E-05	1,00E+00	1,89E+01	3,92E-02	30,69
Laminage de profilés en acier, kg	2,04E+01	1,58E+00	1,64E-03	2,67E-03	4,94E-04	4,61E-06	1,64E-01	1,95E+00	5,77E-03	4,34

Tableau 6 : Procédés polymères										
Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg TEG eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	Pt
Extrusion film, kg	2,16E+01	5,23E+00	6,04E-03	2,01E-02	2,00E-03	9,47E-06	5,10E-01	9,35E+00	7,73E-03	15,47
Extrusion profilé, kg	1,68E+01	4,27E+00	5,08E-03	1,17E-02	1,80E-03	1,08E-05	3,68E-01	7,18E+00	8,34E-03	12,01
Injection, kg	4,59E+01	1,07E+01	1,60E-02	1,67E-02	4,96E-03	5,75E-05	1,28E+00	2,76E+01	1,03E-02	40,75
Thermoformage et calandrage kg	3,18E+01	7,61E+00	1,04E-02	4,34E-02	3,31E-03	3,20E-05	7,59E-01	1,57E+01	8,61E-03	24,99

Tableau 7 : Peintures										
Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg TEG eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	Pt
Vernis acrylique, kg	1,27E+02	2,65E+01	2,82E-02	1,03E-02	8,37E-03	4,22E-04	1,80E+00	4,68E+01	5,24E-02	66,71
Peinture à l'eau 87%, d'eau, kg	1,33E+02	4,51E+01	5,29E-02	5,68E-01	1,61E-02	2,16E-04	2,58E+00	5,56E+01	4,94E-02	94,54
Peinture solvant, 60% de solvant, kg	2,03E+02	6,49E+01	6,33E-02	7,68E-01	1,92E-02	4,19E-04	2,69E+00	8,03E+01	6,43E-02	119,83
Mastic de bitume, kg	7,03E+01	1,40E+01	7,88E-03	2,02E-03	2,76E-03	1,67E-04	3,68E-01	2,71E+01	4,89E-03	27,59
Etanchéité en caoutchouc naturel, kg	1,64E+02	4,10E+01	2,96E-02	9,15E-03	9,28E-03	5,49E-04	1,77E+00	8,83E+01	4,71E-02	100,23

Tableau 8 : Transport

Catégorie d'impact	Ecotoxicité aquatique	Ecotoxicité terrestre	Acidification et eutrophisation terrestre	Occupation des sols	Acidification aquatique	Eutrophisation	Changement climatique	Energies non-renouvelables	Extraction minières	Total, score unique en E-5 point
Unité	kg TEG eau	kg TEG sol	kg SO2 eq	m2 terre arable	kg SO2 eq	kg PO4 P	kg CO2 eq	MJ primaire	MJ supplémentaire	Pt
Transport, camion >16t, moyenne du parc, tonne km	7,58E+00	4,89E+00	5,88E-03	1,10E-03	8,68E-04	7,41E-06	1,22E-01	2,13E+00	1,30E-03	4,90
Transport, camion 3,5-16t, moyenne du parc, tkm	1,76E+01	9,59E+00	1,56E-02	5,00E-03	2,28E-03	1,97E-05	3,23E-01	5,51E+00	2,33E-03	12,68
Transport, passager de voiture, diesel, moyenne du parc 2010 personne km	9,01E+00	3,16E+00	2,93E-03	4,76E-03	5,69E-04	9,11E-06	1,61E-01	2,79E+00	1,99E-03	5,02
Transport, passager de voiture, essence, moyenne du parc 2010 personne km	9,88E+00	3,35E+00	2,38E-03	4,80E-03	5,59E-04	1,12E-05	1,78E-01	3,05E+00	2,04E-03	5,36
Transport, tracteur, tkm	4,70E+01	1,29E+02	1,20E-02	1,48E-02	2,00E-03	1,42E-05	3,02E-01	4,89E+00	2,35E-02	22,75

Glossaire

PLA : Acide polylactique

ABS : Copolymère acrylonitrile-butadiène-styrène

PBT : Poly(téréphtalate de butylène)

SAN : Copolymère styrène-acrylonitrile

PA6 : Polyamide 6

PA6+GF: Polyamide 6 chargé de fibres de verre

PC : Polycarbonate

PET bouteille : Polyéthylène téréphtalate

PEHD : polyéthylène haute densité

PPS : Polysulfide

PP : Polypropylène

HIPS : polystyrene choc

PVC : Poly(chlorure de vinyle)

PUR mousse flexible : polyuréthane

SMC+GF25% : Sheet Molding Compound + fibres de verre

3.4 OUTIL N°4 : COMPATIBILITE DES ACIERS AU RECYCLAGE

Certaines associations d'aciers, lorsqu'elles ne peuvent pas être séparés par broyage et tri, vont générer des pertes de valeurs de la matières recyclée.

Le tableau ci-dessous indique la qualité de l'acier que l'on souhaite obtenir (répertorié en colonne) après avoir recyclé l'association de deux aciers.

Au niveau de la conception des pièces et composants non séparables, on cherchera au maximum à privilégier les associations compatibles (note 1)

La compatibilité de ces deux aciers est :

- BONNE (1) si leur association conduit à un acier recyclé qui présente au maximum une chute de 10% de la propriété mécanique par rapport à celle du grade vierge
- MOYENNE (2) si leur association conduit à un acier recyclé qui présente au maximum une chute de 40% de la propriété mécanique par rapport à celle du grade vierge
- DEGRADEE (3) si leur association conduit à un acier recyclé qui présente au maximum une chute de la propriété mécanique supérieure à 40% par rapport à celle du grade vierge

	Inox	Acier pour emboutissage	Acier pour trempe	Acier à roulement / acier à ressort	Tôle galvanisée
Inox	1	2	2	2	2
Acier pour emboutissage	3	1	3	3	2
Acier pour trempe	3	2	1	3	2
Acier à roulement / acier à ressort	2	2	2	1	2
Tôle galvanisée	3	1	3	3	1

3.5 OUTIL N°5 : COMPATIBILITE DES MATIERES PLASTIQUES AU RECYCLAGE

3.5.1 Compatibilité des matières plastiques au Tri densimétrique

	Poly-éthylène		Copolymères P/E				Polypropylène								Polyamide						Polystyrénique			Autres matériaux									
	PE-HD	PE-LLD	P/E	P/E T 20	P/E + EPDM	P/E + EPDM T 30	PP	PP T 20	PP T 40	PP GF 30	PP MD 30	PP + EPDM	PP + EPDM T 26	PP + EPDM GF 20	PA 6	PA 66	PA 66 GF 20	PA 66 GF 25	PA 66 GF 30	PA 66 MD 40	ABS	ABS GF 15	ABS + PC	PPE + PA	PC + PBT + GF 30	ASA	PF GF 30	POM	PVC	PMMA	PUR	TPE	UP
PE-HD																																	
PE-LLD	X																																
P/E	X	X																															
P/E T 20	X	X																															
P/E + EPDM	X	X	X																														
P/E + EPDM T 30				X																													
PP	X	X	X		X																												
PP T 20	X	X		X		X																											
PP T 40						X																											
PP GF 30				X		X		X	X																								
PP MD 30				X		X		X	X	X																							
PP + EPDM	X	X	X		X		X																										
PP + EPDM T 26				X		X		X		X	X																						
PP + EPDM GF 20						X			X	X	X																						
PA 6				X		X		X		X	X		X																				
PA 66				X		X		X	X	X	X		X	X	X																		
PA 66 GF 20									X					X																			
PA 66 GF 25									X					X			X																
PA 66 GF 30									X								X	X															
PA 66 MD 40																																	
ABS	X	X		X		X		X		X	X		X		X	X																	
ABS GF 15				X		X			X	X	X		X	X	X	X	X				X												
ABS + PC				X		X		X	X	X	X		X	X	X	X					X	X											
PPE + PA				X		X		X	X	X	X		X		X	X		X			X	X	X										
PC + PBT GF 30																		X		X													
ASA				X		X		X		X	X		X		X	X					X	X	X	X									
PF GF 30											X									X					X								
POM																	X	X	X	X					X								
PVC									X					X			X	X	X	X					X			X					
PMMA				X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X	X	X	X		X			X				
PUR					X																												
TPE						X			X	X	X			X		X	X	X				X	X	X	X				X	X			
UP																																	

☐	Séparation possible
X	Séparation impossible

3.5.2 Compatibilité chimique des matières plastiques

	ABS	PA	PC	PE	PMMA	POM	PP	PBT	PVC	PC + PBT	ABS + PC
ABS	1										
PA	2	1									
PC	2	3	1								
PE	3	3	3	1							
PMMA	1	3	2	3	1						
POM	3	3	3	3	3	1					
PP	3	2	3	2	3	3	1				
PBT	2	2	1	3	3	2	3	1			
PVC	2	3	3	3	1	2	3	2	1		
PC + PBT	2	2	1	3	2	2	3	1	2	1	
ABS + PC	1	2	1	3	2	3	3	2	2	2	1

Légende

1 : totalement compatibles

2 : compatibles sous certaines conditions

3 : incompatibles

Sources : Norme Afnor XP R 10-402 de juillet 1996, « Conception des véhicules en vue de l'optimisation de leur valorisation en fin de vie »

3.6 OUTIL N°6 : EFFICACITE DU RECYCLAGE SELON LES MATERIAUX ASSEMBLES

L'efficacité du recyclage des matériaux suppose qu’ils peuvent être séparés facilement les uns des autres par des technologies d'identification et de tri.

Le tableau suivant propose une méthode simple d'évaluation des situations d’assemblage les plus courantes. Elles sont classées du meilleur niveau (1) au moins bon (5).

Situation d’assemblage	Efficacité du recyclage des matériaux	Raison du niveau
Un seul métal	1	La technologie et l’infrastructure de recyclage sont en place
Métaux multiples	1	La technologie et l’infrastructure de recyclage sont en place
Un seul thermoplastique	1	La technologie et l’infrastructure de recyclage sont en place
Thermoplastiques multiples : tous compatibles	2	La technologie et l’infrastructure de recyclage sont en place. Réalisation possible selon la composition du mélange.
Un seul métal ou de multiples métaux avec un seul thermoplastique	3	Le déchiquetage et la séparation magnétique permettent de séparer les métaux en fonction de leur nombre et de leur type. Il en résulte un résidu composé d’un seul plastique potentiellement recyclable
Un seul thermodurcissable	4	Quelques technologies de recyclage sont en voie de développement. Possibilité de recourir à l’incinération pour la valorisation énergétique
Thermoplastiques multiples : incompatibles	5	Au mieux, la technologie est en voie de développement. Possibilité de recourir à l’incinération selon la composition du mélange
Thermodurcissables multiples	5	Au mieux, la technologie est en voie de développement. Possibilité de recourir à l’incinération selon la composition du mélange

3.7 OUTIL N°7 : GRILLE D'AIDE AU CHOIX D'UN MODE D’ASSEMBLAGE

Le tableau ci-dessous indique les propriétés des principaux éléments d’assemblage (1 = bon ; 2 = moyen ; 3= faible)

Principe d’assemblage	Caractéristiques d’assemblage	Capacité de charge		Facilité d’assemblage		Facilité de démontage		Recyclabilité	
		Force statique	Résistance à la fatigue	Effort d’assemblage	Effort de guidage	Effort de démontage	Effort de démontage destructif	Du produit	Des matériaux
Assem-blage physique	Fixation par collage métal / plastique	2	2	2	3	3	2	3	2
	Soudure	1	1	2	3	3	2	3	1
Assemblage par friction	Assemblage magnétique	2	2	1	2	1		2	2
	Bande velcro	3	3	1	1	1		2	2
	Boulon écrou métal	1	1	2	2	2	2	2	2
	Boulon écrou plastique	2	2	2	2	2	1	1	1
	Fixation à ressort	2	3	1	1	1		1	1
Assemblage par forme	Mécanisme par enclenchement	1	2	1	1	3	1	3	1
	Fixation au moyen d’un levier recourbé	1	2	1	2	1	2	1	1
	Fixation par rotation ¼ tour	1	2	1	1	1	2	1	1
	Fixation par pression / rotation	2	2	1	1	1	2	1	2
	Fixation par pression / pression	2	3	1	1	1	2	1	2
	Collier de serrage ou verrou	1	2	1	2	2	1	1	1



Liste de modèles pour la mise en œuvre de la méthode

Tous ces modèles sont téléchargeables au format word et excel en cliquant sur le lien suivant : https://ecodefi.cemagref.fr/resultats-et-publications/delivrables

4.1 LISTE DES MODELES

Modèles à renseigner	
Modèle n°1	- **Note de cadrage**
Modèle n°2	- **Grilles de définition des conditions d'utilisation du matériel d'épandage**
Modèle n°3	- **Liste de synthèse des objectifs technico-économiques du projet**
Modèle n°4	- **Tableau de cotation des indicateurs technologiques**
Modèle n°5	- **Fiche de Synthèse du calcul des impacts pour un scénario de référence**
Modèle n°6	- **Cahier des charge d'éco-conception**
Modèle n°7	- **Fiche d'auto-déclaration**

4.2 MODELE DE NOTE DE CADRAGE

☒	Nom du projet :		
☒	Date de lancement :		
☒	Durée :		
☒	Chef de projet :		
☒	Type de projet :	☐	Projet d'amélioration d'une machine existante. Donner la référence de la machine existante :
		☐	Projet de conception d'une nouvelle machine. Proposer une machine qui tiendra lieu de référence :
☒	Type de motricité :		❒ Automotrice ❒ Tractée (proposer une référence de tracteur) : ❒ Portée : (proposer une référence de porteur) : ❒ Autre (préciser) : ❒ Non définie à ce stade du projet
☒	Description synthétique des objectifs du projet :		
☒	Liste des exigences spécifiques ou des concepts innovants à prendre en compte dans le projet :	☐	Piste 1 :
		☐	Piste 2 :
		☐	Piste 3 : …

4.3 GRILLES DE DEFINITION DES CONDITIONS D'UTILISATION DU MATERIEL

4.3.1 Grille de définition des fonctions attendues selon la nature des matières pouvant être épandues

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	Nature des matières pouvant être épandues (des plus sèches aux plus humides) --------------------------------->					
					Liquide pompable	
	Solide dispersé fin	Solide divisé grossier	Solide compact cohésif	Produit pâteux	Avec risque de bouchage	Sans risque de bouchage
Faciliter les Opérations spécifiques de mise en route/ préparation pour le chantier (réglages, attelage, dégivrage, …)						
Préparer la matière à épandre - stockage initial						
Charger la matière à épandre - stockage initial						
Transporter la matière à épandre vers la parcelle						
Décharger la matière à épandre - bord de parcelle						
Préparer la matière à épandre - bord de parcelle						
Charger la matière à épandre - bord de parcelle						
Permettre le réglage des paramètres d'épandage (maîtrise de dose, profondeur enfouissement …)						
Epandre dans la parcelle						
Restituer des données d'épandage – traçabilité client						
Faciliter le nettoyage de la machine						
Faciliter la Maintenance machine						

4.3.2 Grille des outils ou infrastructures à prendre en compte pour chaque fonction :

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	*Aspects à prendre en compte*	*Caractéristique des Infrastructures/outils disponibles chez l'utilisateur*	*Remarques, commentaires*
Faciliter les Opérations spécifiques de mise en route/préparation pour le chantier (réglages, attelage, dégivrage, …)			
Préparer la matière à épandre - stockage initial			
Charger la matière à épandre - stockage initial			
Transporter la matière à épandre vers la parcelle			
Décharger la matière à épandre - bord de parcelle			
Préparer la matière à épandre - bord de parcelle			
Charger la matière à épandre - bord de parcelle			
Permettre le réglage des paramètres d'épandage (maîtrise de dose, profondeur enfouissement …)			
Epandre dans la parcelle			
Restituer des données d'épandage – traçabilité client			
Faciliter le nettoyage de la machine			
Faciliter la Maintenance machine			

4.3.3 Grille de caractérisation des matières à épandre

Nature de la matière à épandre	Liste des matières à épandre	Fourchettes de doses	Commentaires

4.3.4 Grille de caractérisation des risques pour des conditions extrêmes d'épandage

La grille de caractérisation des facteurs de risques en fonction des sols, de la période d'épandage et de la teneur en azote des matières à épandre

Cocher dans la grille ci- dessous les cases correspondant aux conditions attendues de fonctionnement de la machine :

PRODUIT	Produit épandu précocement (fin d'hiver)			Produit épandu tardivement (été)		
TYPES DE SOLS	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal	Produit peu concentré	Produit riche en azote	Produit riche en azote ammoniacal	Produit peu concentré
Sol limoneux (plus de 40% de limon)						
Sol sableux (plus de 45 % de sable)						
Sols argileux (plus de 40 % d'argile)						

Commentaires :

Grille de caractérisation des facteurs de risques en fonction du type de sol et de la topographie

Cocher dans la grille ci-dessous les cases correspondant aux conditions attendues de fonctionnement de la machine. Compléter la grille par un commentaire.

TYPES DE SOLS	Pression d'interface à ne pas dépasser en conditions semi plastiques[20]	Pression d'interface envisagée	Epandage précoce (fin d'hiver) : forte probabilité de sol humide	Epandage tardif (été) : faible probabilité de sol humide	Sol en pente	Risque de lessivage de l'azote
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	1 bar					
Sol sableux (plus de 45 % de sable)	1,2 bars					
sols argileux (plus de 40 % d'argile)	0,8 bars					

Commentaires :

[20] Pression d'interface limite indicative avant compactage sévère selon l'application Tasc. Pneumatiques 600/55-26.5, Pression des pneumatiques adaptée à la charge. Sols silteux, sableux et argileux, Condition semi-plastique assimilée à une consistance du sol en surface « tendre ». (E Diserens, Art)

<u>Grille de caractérisation des facteurs de risque d'épandage en présence de vent</u>

Compléter dans le tableau ci-dessous les conditions de vent pour lesquelles le matériel doit être conçu selon le type de matière à épandre :

Types de matières à épandre	Vent inférieur à 3 m/s	Niveau maximal de vent ciblé en m/s



4.4 LISTE DE SYNTHESE DES OBJECTIFS TECHNICO-ECONOMIQUES DU PROJET

prix de vente :

Donner la fourchette de prix de vente (en k€), options comprises, pour le matériel faisant l'objet du projet

prix de revient du matériel :

Donner une estimation de la fourchette de prix de revient de la prestation d'épandage (en k€), pour le matériel faisant l'objet du projet

Préciser les hypothèses de votre calcul

Type de technologie de conception :

- ***Niveau d'Interface Homme-Machine envisagé -** IHM - (assistance au pilotage de la machine) :*

    - ❒ Sans objet pour le projet proposé
    - ❒ Faible = interface minimale, limitée aux paramètres de conduite
    - ❒ Moyen = la machine permet d'échanger certaines informations avec le pilote, y compris sur les conditions d'épandage
    - ❒ Elevée = l'interface est ergonomique. Le pilotage est simple et assisté

- ***Niveau d'automatisme souhaité pour le processus d'épandage :***

    - ❒ Sans objet pour le projet proposé
    - ❒ Manuel = pas de régulation ni de contrôle de l'épandage. Les réglages et le pilotage sont manuels
    - ❒ Semi-automatique = certaines fonctions importantes pour la qualité de l'épandage sont régulées (ex : régulation de débit par rapport à une consigne)
    - ❒ Automatique = le pilotage de la machine est entièrement automatisé. Les paramètres d'épandage sont contrôlés et régulés par la machine

- ***Niveau d'automatisme souhaité pour le contrôle du bon déroulement du processus d'épandage (notion d'automatisme en boucle fermée) :***

    - ❒ Elémentaire = la vérification n'est pas assistée – c'est l'opérateur qui doit vérifier le bon déroulement du processus d'épandage
    - ❒ Avec alarme = l'opérateur est averti d'un dysfonctionnement au moyen d'une alarme – l'alarme lui permet de localiser l'origine du problème. Elle peut ou pas interrompre le processus d'épandage.
    - ❒ Gestion des modes de marche dégradés = la machine est capable d'adapter son fonctionnement pour respecter la consigne sans intervention de l'opérateur.

Niveau de qualification requis pour le pilotage du matériel :

- *technicité du pilote pour la conduite de l'attelage :*
  - ❒ faible ? = la conduite de l'attelage ne nécessite pas de maîtrise particulière, y compris lors de manœuvres délicates
  - ❒ moyenne ? = la conduite de l'attelage nécessite une certaine maîtrise lors de manœuvres délicates
  - ❒ forte ? = la conduite de l'attelage nécessite une grande maîtrise

- *technicité du pilote pour réaliser l'épandage :*
  - ❒ faible ? = le bon usage du matériel (réglages, configuration, suivi et contrôle des contraintes agronomiques, restitution …) ne nécessite aucune connaissance de bases sur l'épandage et les risques associés
  - ❒ moyenne ? = = le bon usage du matériel (réglages, configuration, suivi et contrôle des contraintes agronomiques, restitution …) nécessite quelques connaissances de bases sur l'épandage et les risques associés
  - ❒ forte ? = = le bon usage du matériel (réglages, configuration, suivi et contrôle des contraintes agronomiques, restitution …) nécessite de bien connaitre et comprendre les risques associés à l'épandage

- *Expérience du pilote :*
  - ❒ débutant ? = on peut confier la mise en œuvre à une personne n'ayant jamais utilisé ce type de matériel et sans assistance extérieure
  - ❒ confirmé ? = la mise en œuvre nécessite une personne ayant déjà utilisé ce type de matériel sans assistance extérieure
  - ❒ expert ? = la mise en œuvre nécessite un personnel formé sur le matériel et reconnu pour ses compétences sur l'épandage

Niveau de qualification requis pour la maintenance du matériel :

- *technicité nécessaire pour la maintenance de premier niveau :*
  - ❒ faible ? = la maintenance de premier niveau ne nécessite aucune connaissance technique
  - ❒ moyenne ? = la maintenance de premier niveau nécessite des connaissances techniques de base
  - ❒ forte ? = la maintenance de premier niveau nécessite une formation spécifique sur le matériel

- *technicité nécessaire pour la maintenance de deuxième niveau :*
  - ❒ ***faible ? = la maintenance de deuxième niveau ne nécessite*** aucune connaissance technique
  - ❒ moyenne ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite des connaissances techniques de base
  - ❒ forte ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite une formation spécifique sur le matériel

- *Expérience du pilote nécessaire pour la maintenance de premier niveau :*
  - ❒ débutant ? = on peut confier la maintenance de premier niveau à une personne n'ayant jamais utilisé ce type de matériel et sans assistance extérieure
  - ❒ confirmé ? = la maintenance de premier niveau nécessite une personne connaissant bien ce type de matériel
  - ❒ expert ? = la mise en œuvre nécessite un personnel spécialisé sur ce type de matériel

- *Expérience du pilote nécessaire pour la maintenance de deuxième niveau :*
  - ❒ débutant ? = on peut confier la maintenance de deuxième niveau à une personne n'ayant jamais utilisé ce type de matériel et sans assistance extérieure
  - ❒ confirmé ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite une personne connaissant bien ce type de matériel
  - ❒ expert ? = la maintenance de deuxième niveau nécessite un personnel spécialisé sur ce type de matériel

Conception adaptée à des conditions spécifiques de déplacement :

- *Pente maximales sur route (à préciser s'il y a lieu)*

- *Pente maximales au champ : (à préciser s'il y a lieu)*

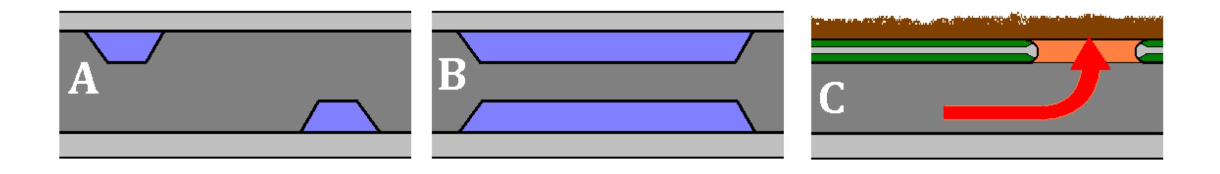
- *Géométrie des parcelles à épandre (préciser s'il y a lieu les longueurs, largeurs et formes moyennes)*

- *Capacité de franchissement (description s'il y a lieu des obstacles potentiels pour lesquels la machine est adaptée - franchissement de dévers, de marches, de butte - entrées de parcelles plus hautes ou plus basses que la voirie - garde au sol – faire des croquis si besoin)*

- **Type et dimensions d'accès/d'espaces (parcelles ou aménagements urbains) pour lesquels la machine est adaptée (faire des schémas).**

  - ❒ capacité de franchissement des chicanes (A) selon leur espacement longitudinal et transversal, des largeurs d'«écluses» (B) et autres aménagements urbains

  - ❒ largeur d'entrée de champs nécessaire en fonction de la largeur de la voirie (C).



- *Conditions limites de stabilité dynamique :*

Liste des paramètres de suivi en temps réel pour la phase d'épandage :

- ☐ *distance parcourue,*
- ☐ vitesse avancement,
- ☐ surface épandue,
- ☐ quantité de matière apportée (masse et/ou volume),
- ☐ consommation de carburant par unité de travail (tonne ou hectare) …
- ☐ dose instantanée (tonne/ha),
- ☐ correction de trajectoire par GPS
- ☐ Autre …

Liste des paramètres à enregistrer et à restituer en fin d'épandage :

- ☐ date de réalisation de l'épandage, (R)
- ☐ nom du pilote,
- ☐ nature de la matière épandue, (R)
- ☐ dose de consigne,
- ☐ dose réellement épandue, (R)
- ☐ quantité de matière épandue et teneur en azote (R)
- ☐ identification de la parcelle épandue, (R)
- ☐ performances globale du chantier (temps/ha, tonne/heure),
- ☐ temps chantier (global ou décomposé),
- ☐ quantité épandue sur la parcelle, (R)
- ☐ Autre : …

Autres aspects pouvant être pris en compte :

- **Design** (à compléter s'il faut prévoir d'intégrer le travail d'un designer)

- **Couleur** (à compléter s'il faut prévoir d'intégrer des couleurs ou dessins spécifiques)

- **Confort opérateur au-delà des obligations réglementaires -** (à compléter s'il y a lieu par une liste et une description des fonctions à intégrer au matériel. Ex : amortissements spécifiques, ergonomie pour les accès - échelles, plate-forme…)

- **Documentation** (type de support à prévoir pour la documentation et contenu à intégrer)

4.5 TABLEAU DE COTATION DES INDICATEURS TECHNOLOGIQUES (1 TABLEAU A REMPLIR PAR TYPE DE MATIERE)

Caractérisation de la matière : *Préciser ici la nature de la matière (voir tableau de composition des matières)*

Type utilisé pour les essais : *Préciser ici le type de matière utilisé pour les essais (voir tableau de composition des matières)*			
$[N_{total}]$	kg/tonne brute	=	?
$[NH_4+]$	kg/tonne brute	=	?………..
$[P_2O_5]$	=	?… …	kg/tonne brute
Dose à épandre =		?	t/ha

Conditions d'essai : *Préciser ici les caractéristiques des matériels utilisés pour les essais*

Résultats et interprétation : *Préciser ici les résultats obtenus et compléter pour les notes d'indicateurs les plus défavorables par un commentaire qui explique le motif de cette notation. En déduire des pistes d'améliorations possible.*

Indicateurs Service rendu	Indicateurs Technologiques		Note de référence obtenue	Note de référence ISR	Commentaires sur l'organe du matériel concerné	Pistes d'amélioration possibles ?
Dosage	Essai obtention dose	ID1				
	Réglage débit (relier les index)	ID2				
	Maîtrise largeur de travail	ID3				
	Quantification matière épandue	ID4				
	Calcul du débit (notion d'abaques)	ID5				
	Informations potentialité épandeur	ID6				
	Traçabilité épandage	ID7				
Fractionnement	Emiettement	IF1				
	Paquets	IF2				
	Intervalles	IF3				
Projection Volatilisation	Gouttes fines	IP1				
	Diamètre de gouttes	IP2				
	Portée de projection	IP3				
Dépôt – enfouissement	Pourcentage de produit sur le sol (enfouisseur)	IE1				
	Profondeur d'enfouissement	IE2				
	Pourcentage de produit sur le sol (épandeur en ligne)	IE3				
Tassement	Contrainte	IT1				
	Pourcentage de surface tassée (d'autant plus important à prendre en compte que IT1 est faible)	IT2				
	Tassement profond	IT3				
Orniérage	Profil ornières	IO1				
	Pourcentage surface ornière	IO2				

Indicateurs Service rendu	Indicateurs Technologiques		Note de référence obtenue	Note de référence ISR	Commentaires sur organe machines concernés	Piste d'amélioration possible ?
Propreté ressources	Propreté	IECO1				
	Largeur projection	IECO2				
	Masse	IECO3				
Puissance Efficience	Traction/ tonnage route	IPE1r				
	Traction/ tonnage champ	IPE1c				
	Traction enfouisseur	IPE1en				
	Puissance Débit	IPE2				
	Rendement de chantier	IPE3				
	Polyvalence	IPE4				

4.6 CAHIER DES CHARGES D'ECO-CONCEPTION

Expliciter dans ce tableau les objectifs du cahier des charges d'éco-conception du matériel d'épandage

Fonction de service rendu à améliorer	Indicateurs technologiques concernés	Priorité	Niveau de performance ou valeur de l'indicateur technologique		Pistes techniques envisagées	Statut
			machine de référence	Objectif à atteindre		x (validé), MT (Moyen terme)
Préciser ici la fonction de service rendu concernée	***Préciser ici l'indicateur technologique à améliorer***	***Préciser ici le niveau de priorité extrait des grilles de hiérarchisation des services rendus***	***Préciser ici la valeur obtenue de l'indicateur technologique pour la machine de référence***	***Préciser ici la valeur visée de l'indicateur technologique pour la machine éco-conçue***	***Préciser ici les pistes technologiques envisagées pour améliorer la valeur de l'indicateur technologique***	***Préciser ici si l'objectif est intégré au projet en cours ou s'il fera l'objet d'un projet ultérieur***

4.7 FICHE DE SYNTHESE DU CALCUL DES IMPACTS POUR UN SCENARIO DE REFERENCE

Données à renseigner	Réponses
Caractérisation de l'épandeur utilisé dans la Base de données	***Préciser ici le nom de l'épandeur utilisé ainsi que les valeurs des indicateurs de performance renseignés pour le calcul***
Principaux paramètres du scénario Evalué ***(Logistique, Epandage, référence pour la normalisation)***	***Préciser ici les données d'entrée du calculateur***
Identification des Impacts environnementaux les plus sensibles (après normalisation)	***Lister et hiérarchiser ici (du plus fort au plus faible) les impacts environnementaux obtenus sur le graphe "résultat ACV" calculé avec la méthode CML2. On aura coché pour l'interprétation les contributions suivantes :*** • Logistique • Chantier d'épandage • Emissions liées à la fertilisation des cultures • Emissions liées à l'apport d'effluents
Classement des contributions aux impacts	***Hiérarchiser ici les contributions (du plus fort au plus faible) aux impacts environnementaux obtenus sur le graphe "résultat ACV" calculé avec la méthode CML2. On pourra mesurer et sommer la hauteurs totales des barres pour chaque contribution***
Répartition des émissions au champ (Indicateurs agro-environnementaux)	***Identifier le pourcentage d'azote émis et hiérarchiser les flux d'émissions obtenus sur le graphe "indicateurs agro-environnementaux", en fonction de leur contribution (du plus fort au plus faible) aux impacts environnementaux***
Interprétation en termes d'indicateurs de performance	***Faire varier les valeurs des indicateurs pour le matériel d'épandage et comparer les impacts obtenus. Cerner ainsi petit à petit les objectifs d'amélioration***

4.8 FICHE D'AUTO-DECLARATION

Première partie : périmètre de conception de la machine

Nom du produit : …………………

Date du document : ……………..

Champ d'utilisation du produit :

Fonctions intégrées au périmètre de conception du matériel	Nature des matières pouvant être épandues (des plus sèches aux plus humides) --------------------------------->					
	Solide dispersé fin	Solide divisé grossier	Solide compact cohésif	Produit pâteux	Liquide pompable Avec risque de bouchage	Liquide pompable Sans risque de bouchage
Faciliter les Opérations spécifiques de mise en route/ préparation pour le chantier (réglages, attelage, dégivrage, …)						
Préparer la matière à épandre - stockage initial						
Charger la matière à épandre - stockage initial						
Transporter la matière à épandre vers la parcelle						
Décharger la matière à épandre - bord de parcelle						
Préparer la matière à épandre - bord de parcelle						
Charger la matière à épandre - bord de parcelle						
Permettre le réglage des paramètres d'épandage (maîtrise de dose, profondeur enfouissement …)						
Epandre dans la parcelle						
Restituer des données d'épandage – traçabilité client						
Faciliter le nettoyage de la machine						
Faciliter la Maintenance machine						

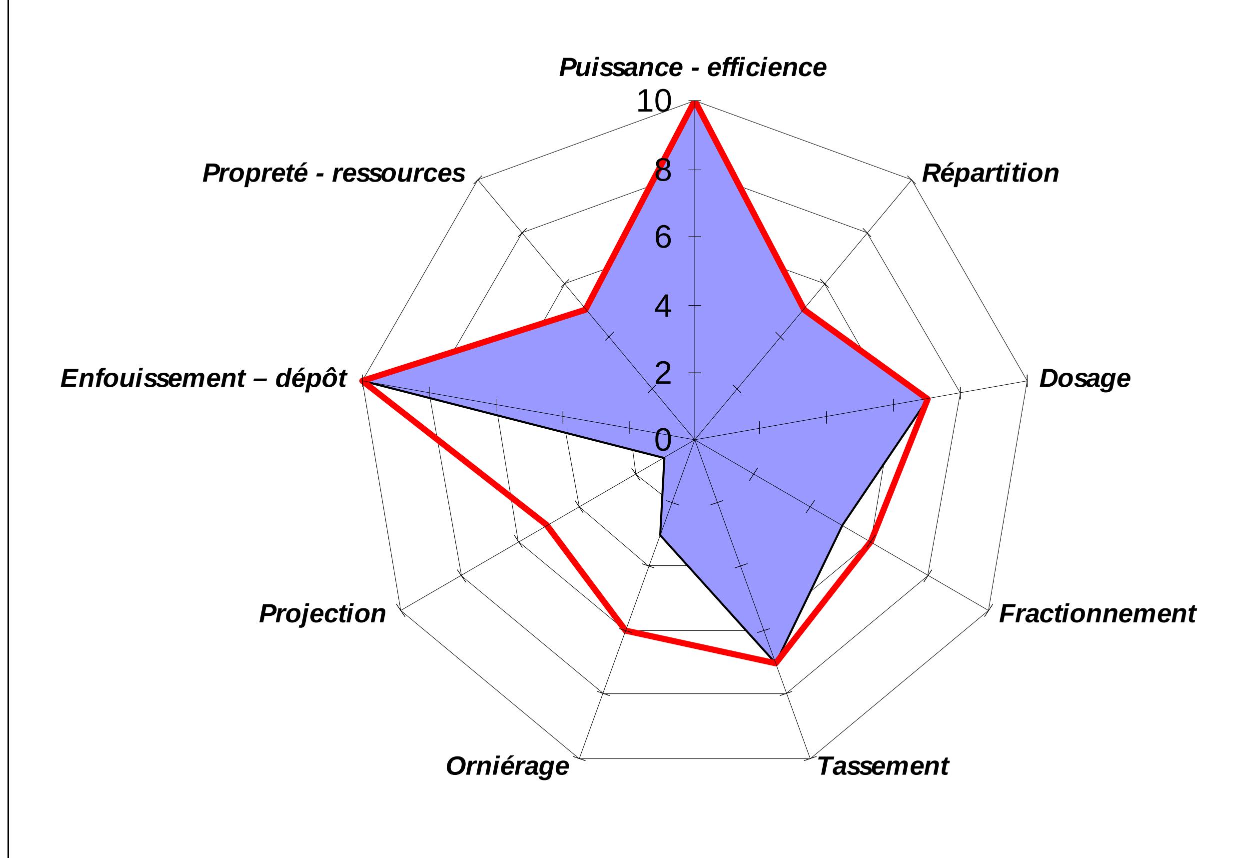
Limites d'utilisation de la machine :

PRODUIT	Produit épandu précocement (fin d'hiver)			Produit épandu tardivement (été)		
TYPES DE SOLS	**Produit riche en azote**	**Produit riche en azote ammoniacal**	**Produit peu concentré**	**Produit riche en azote**	**Produit riche en azote ammoniacal**	**Produit peu concentré**
Sol limoneux (plus de 40% de limon)						
Sol sableux (plus de 45 % de sable)						
Sols argileux (plus de 40 % d'argile)						

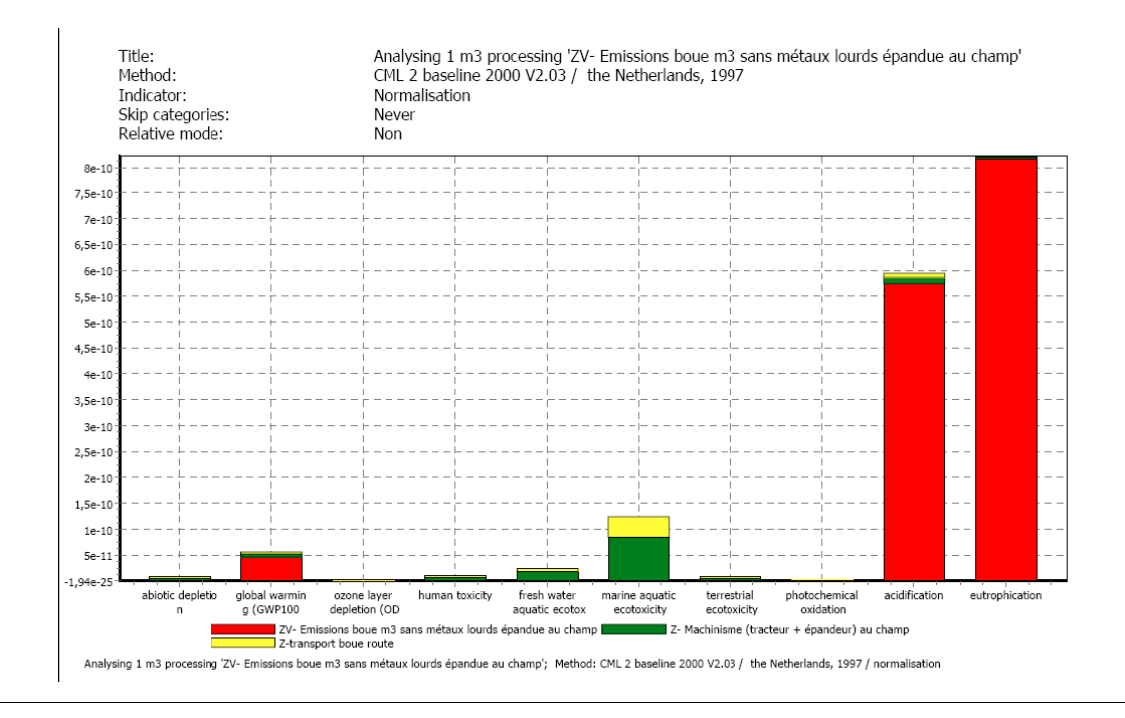
TYPES DE SOLS	Pression d'interface à ne pas dépasser en conditions semi plastiques*	Pression d'interface	Epandage précoce (fin d'hiver) : forte probabilité de sol humide	Epandage tardif (été) : faible probabilité de sol humide	Sol en pente	Risque de lessivage de l'azote
Sol limoneux (plus de 40% de limon)	1 bar					
Sol sableux (plus de 45 % de sable)	1,2 bars					
sols argileux (plus de 40 % d'argile)	0,8 bars					

* Pression d'interface limite indicative avant compactage sévère selon l'application Tasc. Pneumatiques 600/55-26.5, Pression des pneumatiques adaptée à la charge. Sols silteux, sableux et argileux, Condition semi-plastique assimilée à une consistance du sol en surface « tendre ». (E Diserens, Art)

Deuxième partie : Affichage des indicateurs de service rendu



Troisième partie : Aspects techniques de conception
Aspects de la conception spécifique au projet : *Décrire ici les solutions techniques qui ont été mises en œuvre pour améliorer les fonctions de service rendu (en lien avec les indicateurs technologiques et de service rendu)*

Quatrième partie pour les boues : Affichage des indicateurs agro-environnementaux
Présenter ici les résultats des évaluations avec le calculateur d'ACV simplifié ainsi que les hypothèses utilisées pour le scénario de référence 

5

Glossaire, abréviation, unités

- ***ACV - Analyse du Cycle de Vie, Life Cycle Analysis (LCA) en anglais.***

  Il s'agit de la "Compilation et évaluation des consommations d'énergie, des utilisations de matières premières, et des rejets dans l'environnement, ainsi que de l'évaluation de l'impact potentiel sur l'environnement associé à un produit, ou un procédé, ou un service, sur la totalité de son cycle de vie". Cette méthode repose sur une démarche en 4 phases :- la définition des objectifs et du champ de l'étude, l'analyse de l'inventaire,- l'évaluation de l'impact,- l'interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs initiaux.

- ***APV***

  Autorisation Provisoire de Vente

- ***Automatisme***

  Techniquement, un automatisme est un sous-ensemble ou un organe de machine(s) destiné à remplacer de façon automatisée une action ou décision habituelle et prédéfinie sans intervention de l'être humain

- ***Cahier des charges fonctionnel***

  Le cahier des charges fonctionnel (CdCF) est un outil méthodologique pour détecter et formuler le besoin et justifier en aval les exigences techniques contenues dans un marché ou un contrat d'études, voire un appel d'offres NF X50-151

- ***Catégorie d'impact - classe d'impact -***

  Classe représentant les points environnementaux étudiés à laquelle les résultats de l'inventaire du cycle de vie peuvent être affectés ISO 14040:2006(F)

- ***Chantier d'épandage***

  un chantier d'épandage est caractérisé par une logistique, un stockage de matière, un itinéraire ou trajet d'épandage

- ***CIPAN****

  Culture Intermédiaire Piège à Nitrates

- ***Compaction***

  Réduction de volume due à la perte d'air contenu dans les interstices. Elle entraîne une augmentation de la densité du sol.

- ***Critère d'appréciation***

  caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée NF EN 1327

- ***CTO***

  Composé Traces Organiques

- ***ETM***

  Eléments Traces Métalliques

- ***ETV***

  Environmental Technology Verification system

- ***Flexibilité d'un niveau***

  Ensemble des indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau recherché pour un critère d'appréciation NF EN 1329

- ***Groupe projet***

  Association de compétences et de fonctions autour d'un projet de conception. Ce groupe peut intégrer toutes les fonctions de l'entreprise pouvant être impactées par le projet (R&D, BE, Achats, Industrialisation …). Cette notion n'implique pas forcément des personnes physiques différentes.

- ***ICPE***

  Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

- ***Impact environnemental***

  L'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives et fonctionnelles de l'Environnement (négatives et/ou positives) engendrées par un processus, un organisme ou un produit (de sa conception à sa "fin de vie")

- ***Indicateur de risque***

  Effet direct ou indirect sur l'environnement (fertilité, eau/air, sol), assorti d'un seuil de déclenchement lié à l'intensité de la contrainte. Au-delà du seuil, l'impact est considéré comme quantifiable et intégré dans l'ACV, en deçà, il n'est pas pris en compte

- ***Interface Homme-Machine (IHM)***

  Une IHM permet d'échanger des informations entre l'utilisateur humain et la machine. Pour que cette communication soit la plus simple à faire et à réaliser, on utilise différents éléments. Les périphériques d'entrée (comme le clavier, la souris) permettent à l'homme de donner des renseignements ou des ordres à la machine. Les périphériques de sortie (comme l'écran, des diodes ou l'imprimante) permettent à la machine de répondre aux ordres et d'afficher des informations. L'écran est un élément important et peut afficher du texte simple aussi bien qu'un environnement graphique élaboré. L'un des buts de la discipline est ainsi de donner des outils et des éléments pour mettre en forme au mieux cet environnement, et ainsi permettre à l'homme l'interagir plus agréablement ou plus efficacement avec la machine

- ***ISR***

  Indicateur de Service Rendu

- ***IT***

  Indicateur Technologique

- ***Limite d'acceptation***

  niveau de critère d'appréciation au delà duquel ou en deçà du quel le besoin est jugé non satisfait NF EN 1330

- ***Machine d'épandage idéale***

  Machine pour laquelle les indicateurs de risque sont nuls (en dessous des seuils de déclenchement)

- ***Niveau d'un critère d'appréciation d'une fonction***

  grandeur repérée dans l'échelle adoptée pour un critère d'appréciation d'une fonction NF EN 1328

- ***Plan de fumure***

  Conseil de gestion complet pour tous éléments de fertilisation et d'amendement : principalement sur l'azote mais il peu aussi se réaliser sur le phosphore, potassium, calcium, magnésium, oligo-éléments…

  Fait appel à des analyses de terre par groupes homogènes de parcelles de l'exploitation et parfois à des outils spécifiques de pilotage de la fertilisation des céréales (analyses de tiges ou foliaires). Démarche volontaire

- ***Plan prévisionnel des épandages d 'azote organique et minéral***

  Concerne le seul élément fertilisant azote - Est obligatoire (en l'absence d'un plan de fumure) pour toute les exploitations agricoles de la zone vulnérable - La prévision concerne les quantités et les moments d'apport

- ***PVE***

  Plan Végétal Environnement

- ***Recyclable***

- ***Risque (avec un effet potentiel sur une cible)***

  Impact potentiel (notion de danger * exposition)

- ***RSD***

  Règlement Sanitaire Départemental

- ***Scénario d'épandage***

  les scenarios sont constitués par des chantiers d'épandage (logistique, stockage, épandage) pour d'un couple machine-boue dans un système de référence précis (système avec une rotation culturale et donc des besoins nutritionnels pour les plantes précis et des conditions pédoclimatiques typiques

- ***Sessi***

  Service des Etudes et Statistiques Industrielles

- ***Valorisable***

  Qui peut être réutilisé utilement par la culture, l'industrie de recyclage ou autres

6

ANNEXES

Toutes ces annexes sont téléchargeables au format word et pdf en cliquant sur le lien suivant : https://ecodefi.cemagref.fr/resultats-et-publications/delivrables.

6.1 LISTE DES ANNEXES

Annexes	
Annexe 1	• Période et sensibilité des sols au tassement
Annexe 2	• Description des indicateurs de service rendu et des indicateurs technologiques
Annexe 3	• Principe de calcul des indicateurs de service rendu
Annexe 4	• Description du simulateur d'épandage
Annexe 5	• Description des risques liés à l'épandage et des impacts environnementaux associés
Annexe 6	• Information concernant le Règlement REACH
Annexe 7	• Scénarios de fin de vie des matériels agricoles
Annexe 8	• Les étapes de l'analyse de cycle de vie
Annexe 9	• Les hypothèses des ACV du projet ECODEFI

6.2 ANNEXE 1 : PERIODE ET SENSIBILITE DES SOLS AU TASSEMENT

Compaction du sol

L'impact d'une même machine avec une même pression d'interface, et une même charge à l'essieu, pourra être différent selon la sensibilité et l'état du sol sur lequel elle peut être appliquée. Il s'agit donc de définir au plus tôt dans le projet de conception les conditions d'utilisation.

Globalement les déformations du sol sont élastiques pour les faibles contraintes. Elles sont plastiques pour les contraintes plus élevées.

Les tassements de surface (0/30 cm) sont directement liés à la pression d'interface. Les tassements de profondeur (40/100 cm) sont plus en lien avec la charge à l'essieu.

La **compaction** est une réduction de volume due à la perte d'air contenu dans les interstices. La compaction entraîne donc une augmentation de la densité du sol.

La **portance** correspond à la déformation du sol, c'est à dire à la création d'ornière, sans forcément qu'il y ait de lien avec le tassement du sol.

Un sol compact qui a perdu sa porosité devient difficilement pénétrable pour les racines et freine le transfert d'eau. Au niveau des zones tassées il y a des pertes sévères de rendement en culture.

En cas de compaction en profondeur, (50/70 cm voir plus) les possibilités de reprise sont impossibles. La régénération de la porosité ne pourra se réaliser que très lentement par les racines pivotantes de certaines cultures et les vers de terre.

Seul le sous-solage (fortement consommateur d'énergie et de temps) peut casser une semelle de labour à 30/40 cm.

En cas de compaction de surface, (0/25 cm) la vie du sol et un travail de type labour ou passage de dents rigides pourront recréer de la porosité sous réserve que la compaction ne soit pas trop sévère. Si elle a lieu, les sols argileux ou limoneux peuvent se fragmenter en blocs sous l'effet des outils. Ces blocs se comporteront souvent comme des cailloux qui peuvent rester dans le sol plusieurs années.

Il est donc fondamental de tout mettre en œuvre pour éviter les compactions surtout de profondeur car non rattrapable.

Quelques éléments pour mieux apprécier le facteur sol dans la conception des outils et le choix des pneumatiques

Les risques de tassement, pour une même pression d'interface et une même charge à l'essieu, varient principalement selon 4 facteurs :

a) La teneur en eau du sol

A l'état sec un sol argileux ou argilo-limoneux a une forte cohésion et résistance à la pression. (Résistance à la compaction élevée, bonne portance).

Si l'humidité augmente, l'indice de vide des fragments terreux augmente en fonction de leur hydratation (propriété hydroscopique de certaines argiles). La porosité et la plasticité s'améliorent, mais en améliorant ces propriétés, le sol devient plus sensible au tassement. (Risque de compaction fort, portance moyenne)

Pour les sols sableux, cette variation de volume à l'humectation ne se réalise pas.

Avec une teneur en eau à saturation, la compressibilité du matériau devient impossible car toute la porosité est remplie d'eau. La perte de porosité sous l'action d'une pression est donc impossible. En cas de passage d'un engin il y a création d'un bourrelet de part et d'autre de l'ornière mais surtout la transmission intégrale de la pression par l'eau détruit les éléments internes de la structure. En séchant par la suite, le sol se prend en masse et devient impénétrable aux racines. (Risque de compaction faible, portance mauvaise)

Le point de ressuyage est atteint quand l'eau de la macroporosité est évacuée.

Les risques de tassements sont donc minimaux l'été en sol sec. Ils sont maximaux en sortie d'hiver en pays à climat humide.

b) La structure du sol

La structure c'est l'organisation des agrégats de sol entre eux. Cette organisation crée des vides (la porosité) qui permettront aux racines d'explorer ce matériau et à l'eau et l'aire de circuler.

La porosité d'un sol de sable grossier est principalement due à sa texture de sable. Dans les sols de limon ou d'argile la porosité est principalement liée à l'activité biologique (lombrics, champignons..) et aux fissures provoquées par les retraits/gonflements du matériau sous l'effet des phases d'humidité et de sécheresse.

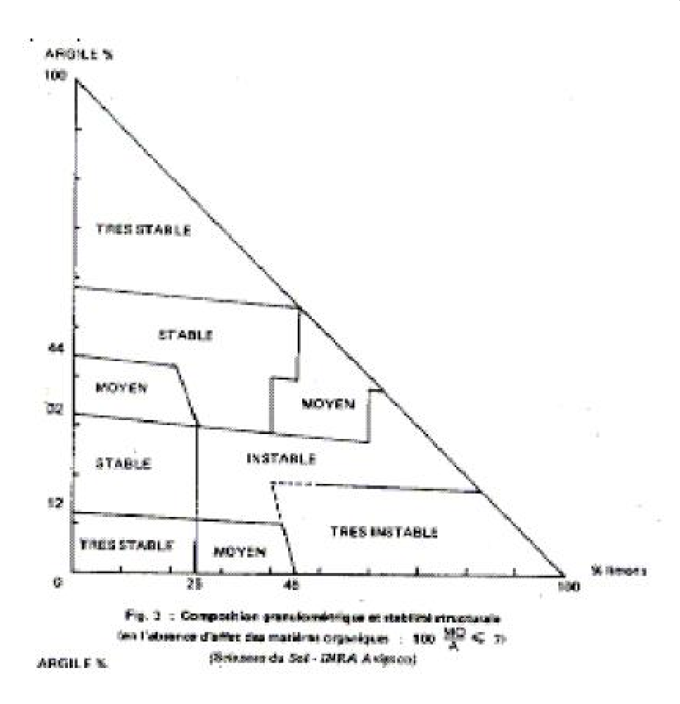
Cette organisation des particules entre elles avec des vides est dite structurale.

La porosité d'un sol peut s'apprécier par la densité, par l'analyse d'image, l'infiltrabilité...

Elle impacte directement la capacité de drainage d'un sol et sa capacité à être explorée par les racines.

La capacité d'un sol à garder sa structure, sous une contrainte de pression, est en lien avec sa stabilité structurale (mesurable en laboratoire) elle-même dépendante de la texture, du pH (plus stable à pH élevé) et de la teneur et activité organique.

Graphique b1 : Stabilité de la structure en fonction des teneurs en argile et limon du sol.



c) La teneur en matières organiques.

Les matières organiques présentes dans le sol peuvent être classées en 3 compartiments :

Un compartiment de durée de vie de plusieurs dizaines d'années liée à la fraction minérale du sol et souvent appelé humus. Il est le liant principal des micro-agrégats.

Un compartiment d'éléments organiques en cours de décomposition (paille,..) qui intervient fortement sur les propriétés de plasticité de drainage et joue un rôle « d'amortisseur ».

Un compartiment actif (biomasse microbienne et fongique) qui agrège les micro-agrégats et plus généralement lie les constituants du sol entre eux.

Le rôle de la matière organique sur la stabilité structurale est d'autant plus important que le sol est de texture limoneuse.

Les sols humifères (terre noire de Limagne…) sont considérés comme parmi les plus stables.

Après un tassement d'intensité moyenne, certains sols ont la capacité de refaire en l'espace de quelque mois leur structure sous l'action des lombrics et plus généralement de la faune et flore du sol. C'est la capacité de résilience directement en lien avec l'activité biologique du sol.

Graphique c1

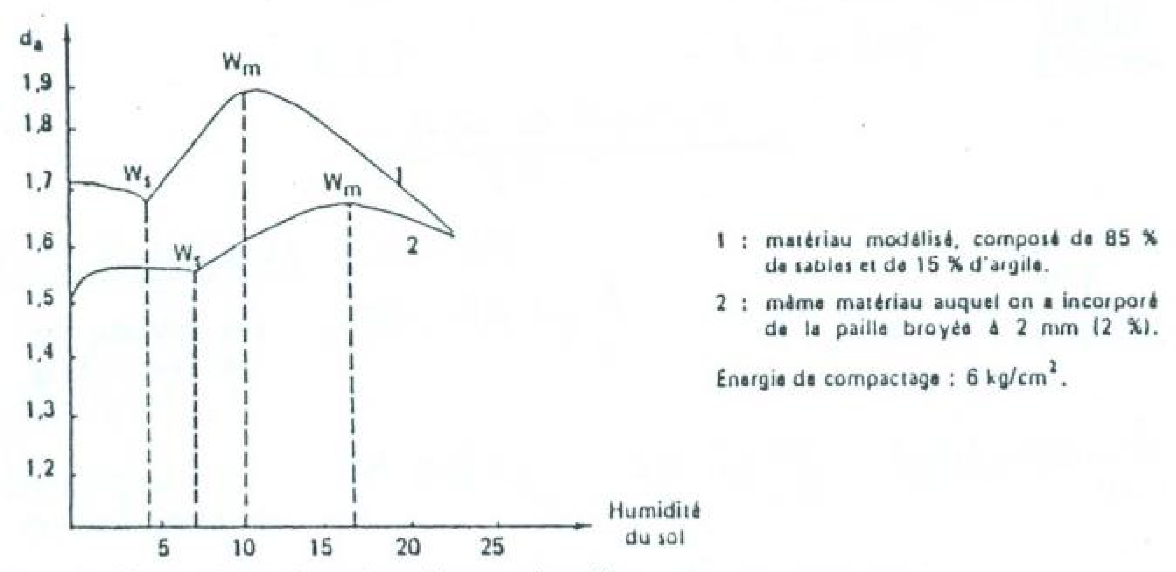


Figure 4 : Influence de la présence de matières organiques libres sur la sensibilité au tassement d'un sol (GUERIF, 1976).

[1] Pour une même pression d'interface, la densité apparente du sol sous l'effet d'une pression diminue moins après incorporation de matière organique fraîche.

d) La texture du sol.

La texture ou composition granulométrique du sol intervient également dans l'appréciation du risque tassement.

Les sols de limon sont globalement les plus à risque surtout quand ils sont peu pourvus en matières organiques.

Les sols de marne à carbonate fin et les argiles sodiques sont considérés comme les sols les plus instables.

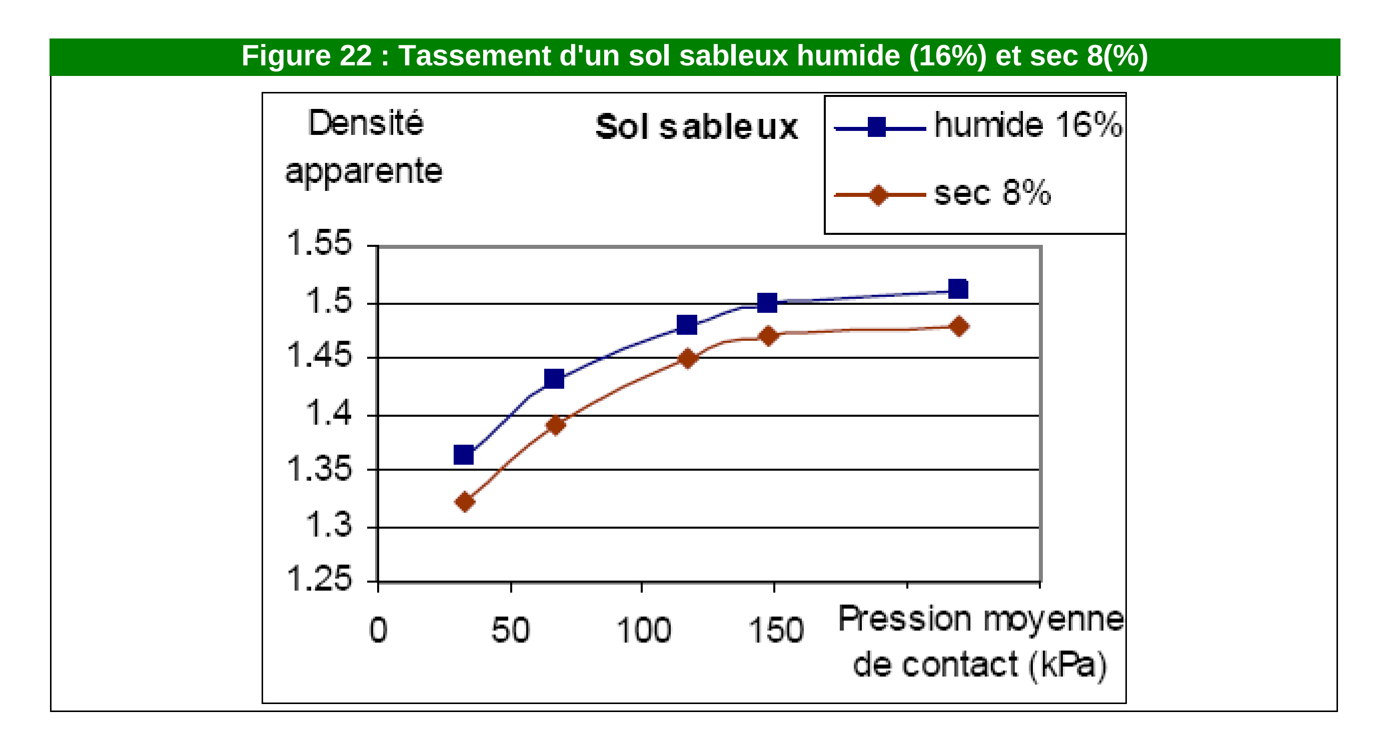
Les sols argileux ou argilo-calcaire ont généralement une forte capacité de résistance au tassement. Mais par contre ce sont généralement eux qui se ressuient le plus lentement. La période à risque est donc plus longue pour ce type de sol. Ils peuvent reformer leur porosité par fissuration du fait de leur aptitude au gonflement et retrait.

Les sols sableux peuvent être sensibles au tassement principalement de profondeur, mais comme ils se ressuient généralement très vite la période de risque est plus courte.

Simulations logiciel Compsoil

- **Tassement en sol sableux : Argile (10%), Limon (26%), Sable (64%)**

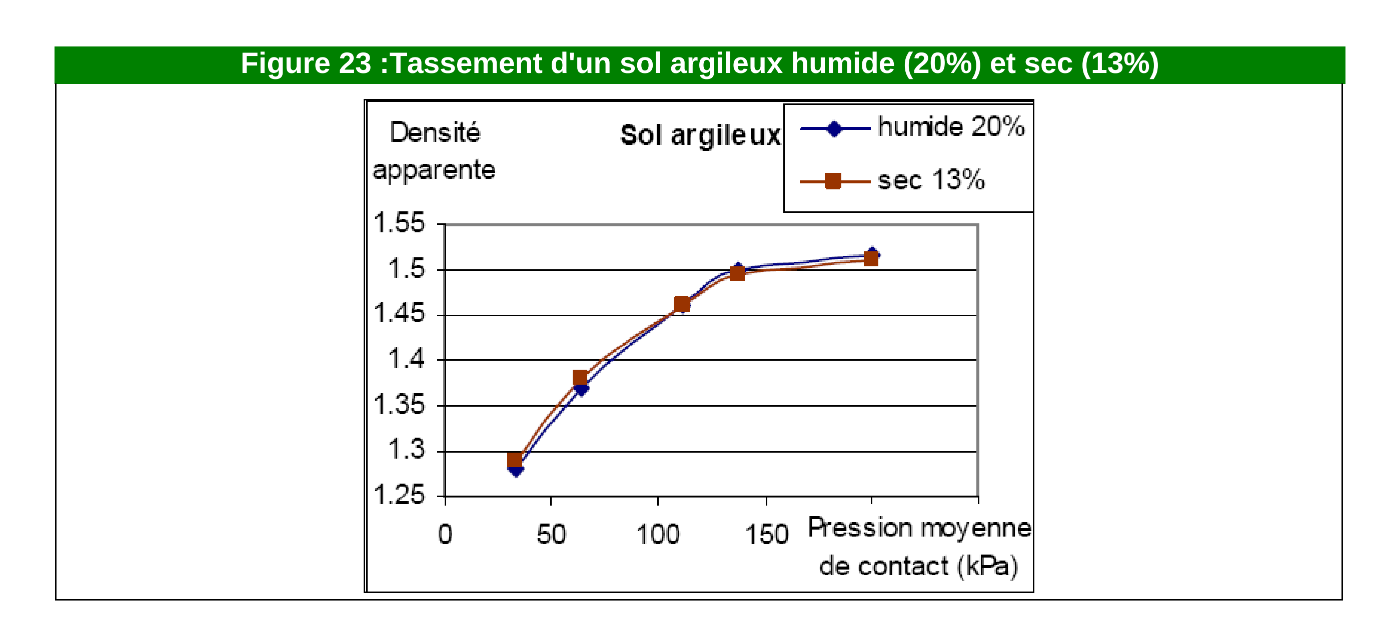
Figure 22 : Tassement d'un sol sableux humide (16%) et sec 8(%)



Ce sol sableux humide se tasse plus que le même sol sec pour une même pression d'interface

Tassement en sol argileux : Argile (24%), Limon (38%), Sable (38%)

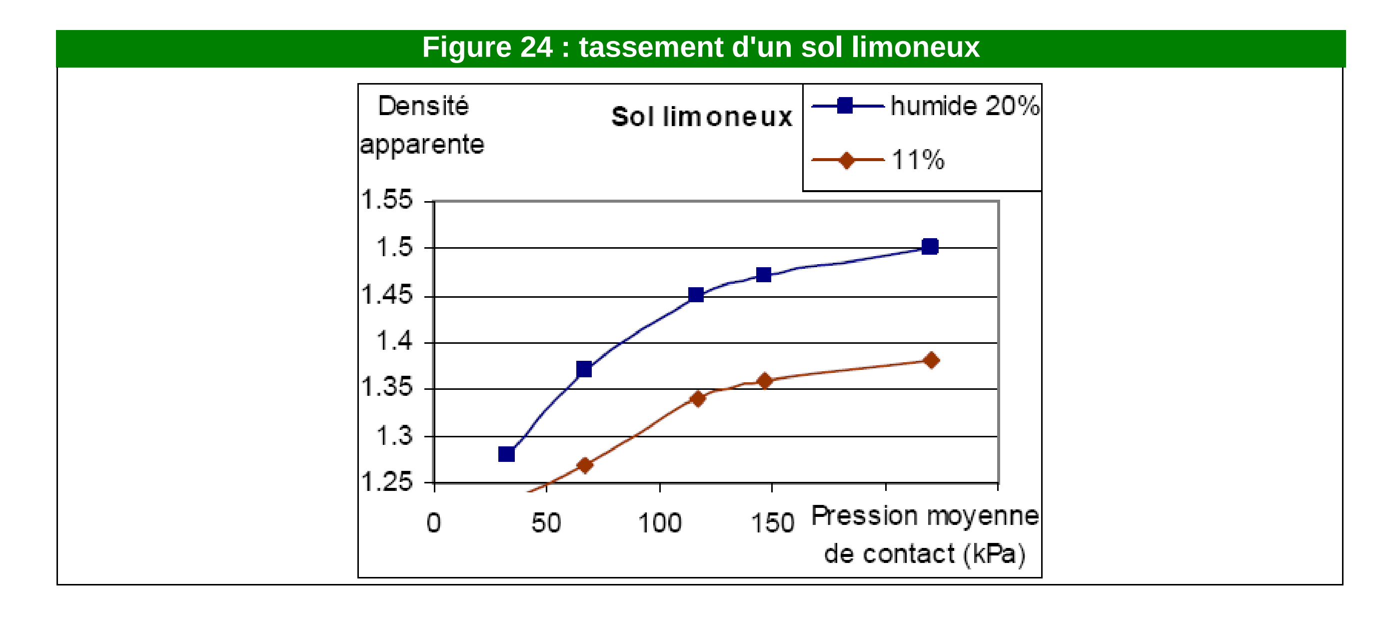
Figure 23 :Tassement d'un sol argileux humide (20%) et sec (13%)



Pour une même pression d'interface, les augmentations de densité sont fortes et sont les mêmes en situation de sécheresse ou d'humidité pour ce sol argileux. Le point de plasticité où la cohésion est plus forte est donc à moins de 13 % d'humidité pour ce sol argileux.

Tassement en sol limoneux : Argile (17%), Limon (75%), Sable (5%)

Figure 24 : tassement d'un sol limoneux



Les différences de tassement entre sol humide et sol sec sont très marquées ce qui confirme la grande sensibilité des sols de limon surtout en sol humide, plus ou moins ressuyé.

Figure 25 : Evolution de la densité d'un sol obtenue sur deux types de sol différents en fonction de l'humidité.

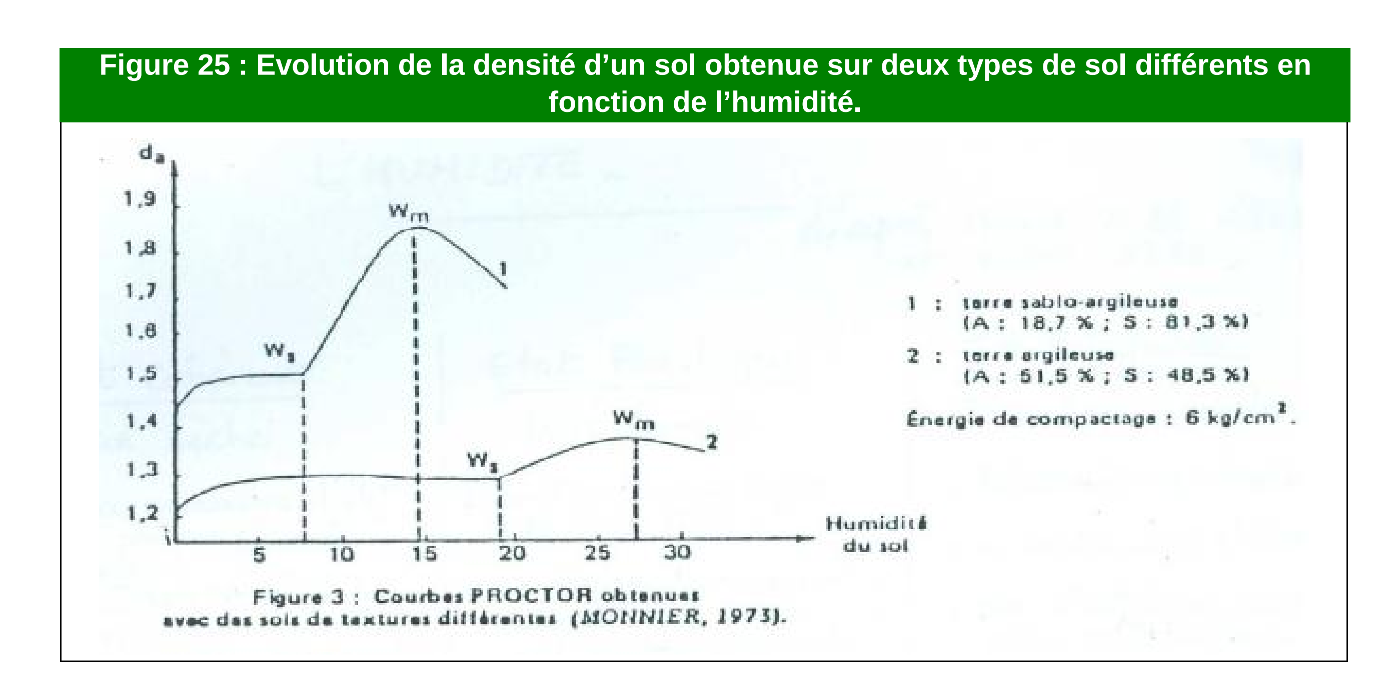


Tableau 1 : Classement des texture en fonction des risques de tassement

TABLEAU 1. — *Classement des textures selon l'aptitude au tassement*

Textures	Susceptibilité au tassement					
	très faible	faible	modérée	assez import.	import.	très import.
Sable	X					
Limon léger	X					
Limon léger sableux	X	X				
Argile sableuse	X	X	X			
Argile lourde	X	X	X			
Sable limoneux	X	X	X	X		
Sables argileux	X	X	X	X	X	
Limon moyen		X	X			
Limon moyen sableux		X	X	X		
Argile		X	X	X	X	
Limon sableux			X	X	X	
Limon argileux				X	X	
Limon sablo-argileux				X	X	X
Argile limoneuse				X	X	X
Limon argilo-sableux					X	X

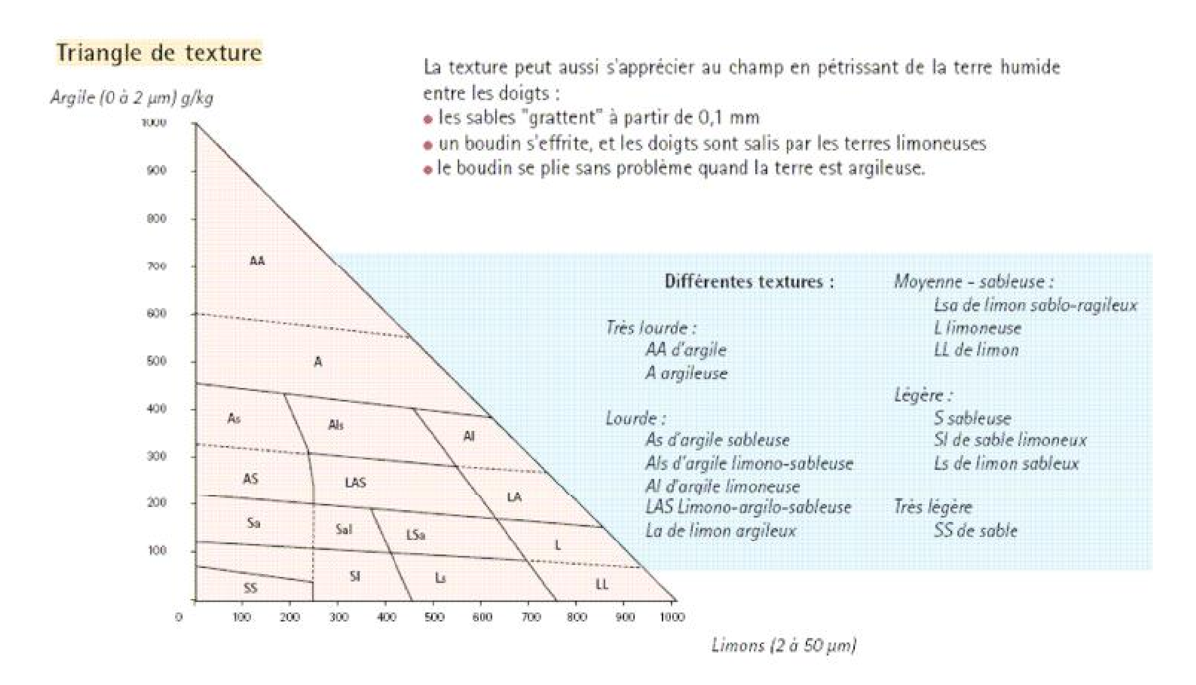
Les sables et limon très léger (donc en fait un sol de sable très fin) ont une sensibilité au tassement faible.

Les limon-sableux, les limon-argileux, les limon sablo-argileux, les argile-limoneuses et les limons argilo-sableux ont une très forte sensibilité au tassement.

Le taux de MO et le pH du sol peuvent faire varier fortement la sensibilité au tassement de tous les sols en particulier les sable limoneux et les sables argileux

Selon l'origine des argiles (Montmorillonnite> illite> kaolinite) le comportement des sols argileux peut très fortement varier. Les kaolinites se comportent en fait comme des limons très fins.

Triangle de texture :

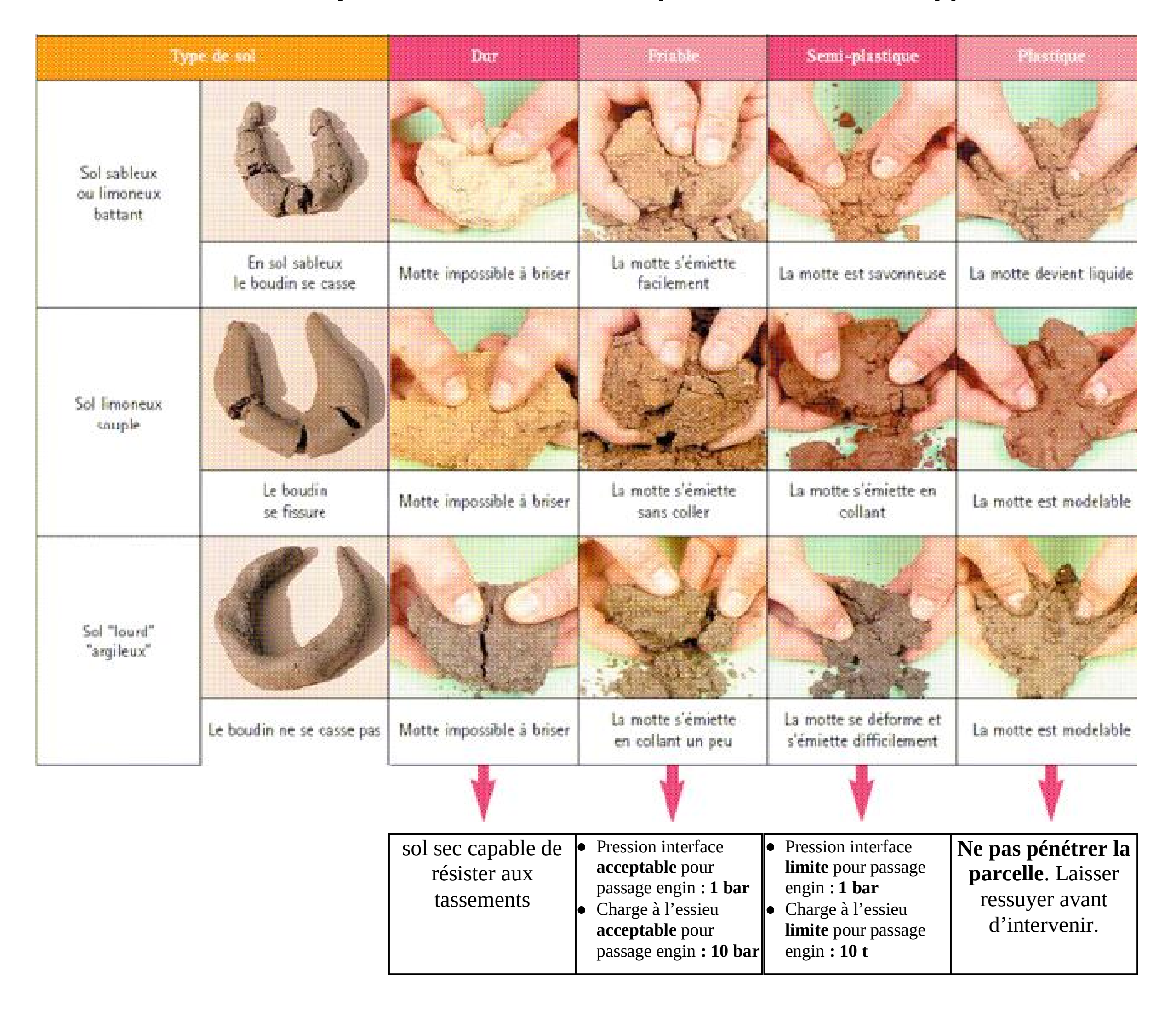


Conclusions :

- Une machine dont le programme de travail prévu est plus tourné vers des épandages d'été en climat sec pourra être conçue avec des contraintes de charge à l'essieu et de pression d'interface peu sévère.
- A contrario, Une machine conçue pour travailler toute l'année donc y compris en hiver et au printemps et plus particulièrement en sol limoneux, devrait supporter des limites de charge et de pression d'interface les plus contraignantes qui soient.

Eléments d'appréciation pratique de la texture et de l'humidité.

Les critères suivants peuvent être observés pour déterminer le type de sol :



6.3 ANNEXE 2 : DESCRIPTION DES INDICATEURS DE SERVICE RENDU ET DES INDICATEURS TECHNOLOGIQUES

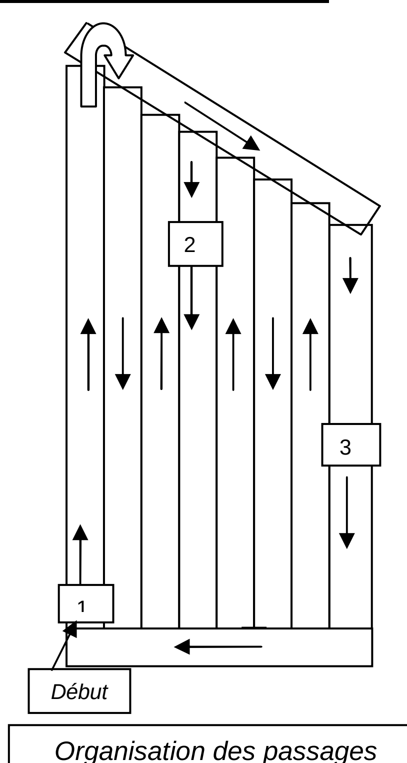
6.3.1 Répartition

La répartition est un facteur essentiel de qualité d'épandage. C'est d'ailleurs le critère unique analysé dans les essais effectués suivant les normes EN 13406 (lisier) et EN 13080 (fumier). Classiquement, nous recherchons un épandage uniforme sur l'ensemble de la surface. Des objectifs spécifiques de répartition peuvent être assignés à certaines machines. Dans ces cas, marginaux aujourd'hui, la définition de la répartition sera précisée pour chaque cas précis envisagé.

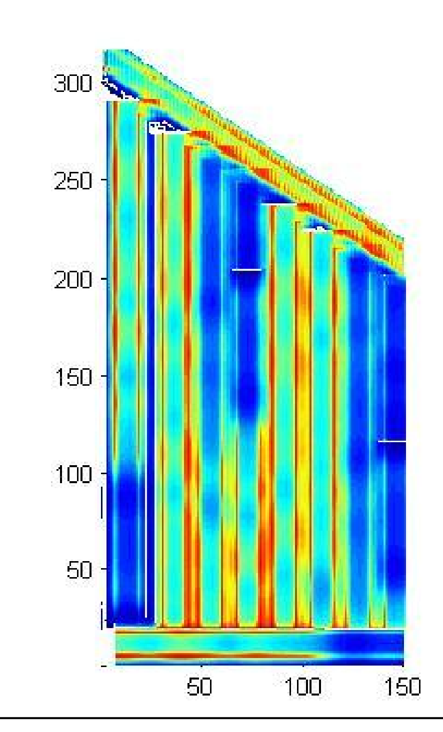
La répartition transversale détermine la régularité d'épandage dans le sens perpendiculaire au sens d'avancement. Cette régularité est évaluée par un coefficient de variation (cv) correspondant à une largeur de travail optimum. La mesure est effectuée pour un passage unique, aboutissant à une courbe de passage unique. La répartition transversale globale est déterminée par analyse et combinaison de ces courbes.

La répartition longitudinale est établie à partir du débit instantané q de l'épandeur, calculé par "dépesée" ou mesuré à l'aide d'un débitmètre. Pour pouvoir établir une image complète de la répartition, nous utilisons un simulateur d'épandage créé pour Ecodéfi. Il s'agit de reproduire numériquement un épandage sur une parcelle type avec des caractéristiques d'épandage identiques à celles de la répartition de l'appareil étudié.

Exemple de simulation d'épandage virtuel (les zones en rouge indiquent les surdosages, les zones bleues les sous dosages) :



Organisation des passages d'épandage dans la parcelle



Agrégation des nappes et des courbes longitudinales

A la fin de cet épandage virtuel, nous obtenons une cartographie d'épandage dont nous pouvons déduire un histogramme de fréquence de doses. Pour chaque classe surdosée, nous déterminons la quantité surdosée qui est ensuite pondérée sur l'ensemble de la surface totale.

$$Surdose_totale = \frac{\sum(\text{ surdose de chaque classe} \times \text{Surface de la classe})}{\text{Surface de la parcelle}} \quad \text{(en t/ha)}$$

Une mauvaise répartition contribue à deux impacts environnementaux : lessivage et toxicité. Un surdosage apporte un excès d'azote localement, supérieur au besoin de la plante. Cet azote non absorbé par la plante sera lessivé sous forme de nitrates (NO_3) par le drainage naturel de l'eau du sol. Selon une étude de Morvan (2000), 58 à 75% de l’azote excédentaire est lixivié.

En outre, des surdosages locaux élevés peuvent provoquer une accumulation d'éléments traces organiques (ETM) et de composés traces organiques (CTO) supérieure à la limite autorisée sur 10 ans. Si la dose maximale sur 1/100 de la parcelle entraîne un dépassement de flux maximal autorisé d'un élément (sur 10 ans), l'appareil sera déclaré inapte à l'épandage de boues.

A partir du paragraphe suivant, les coefficients (en bleu) correspondent aux coefficients de pondération pour le calcul des indicateurs de services rendus. Lorsque les coefficients sont de zéro, l'indicateur technologique ne rentre pas dans le calcul de l'indicateur de service rendu correspondant mais il est conservé pour sa valeur pédagogique.

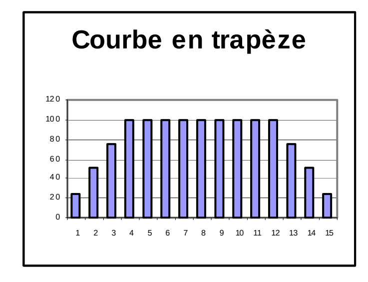
6.3.1.1 Indicateurs de distribution transversale

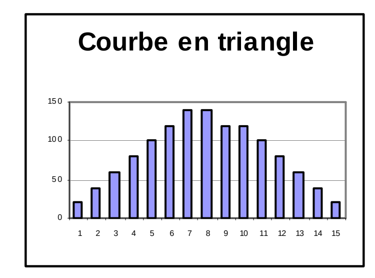
I_{R1} Coefficient 1[1]	
Application à tous les épandeurs, avec diversité d'interprétations Sont exclus les épandeurs à projection latérale.	
Indicateur de symétrie	Pourcentage calculé des quantités obtenues à gauche et à droite de la machine après épandage. ex % gauche = 49% % droite =51% *Notation :* Critère de symétrie= % du côté le +faible / % du côté le +fort Indicateur de symétrie = si critère de symétrie <0.66, "2", si entre 0.66 et 0.74, "4", si entre 0.74 et 0.82, "6", si entre 0.82 et 0.9, "8", et si entre 0.9 et 1, "10"

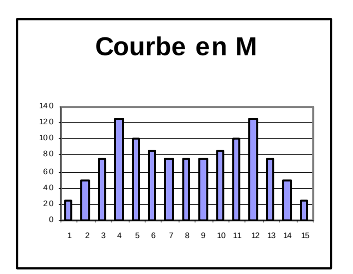
Cet indicateur de symétrie est inspiré d'évaluations de distributeurs d'engrais minéraux monodisques. Sur ces appareils, il est difficile d'obtenir une projection symétrique. Sur les épandeurs, un défaut de symétrie peut provenir d'un désaxage de l'organe d'épandage, d'une alimentation défectueuse ou souvent d'un chargement défectueux. L'indicateur peut alors dans ce cas devenir un indicateur de sensibilité à un mauvais chargement.

Exemple de dispositif à éviter : la fixation des buses d'épandage sur portée sphérique sans repère d'alignement ne permet pas de garantir une bonne symétrie de l'épandage.

I_{R2} Coefficient 0	
Application aux épandeurs de produits solides et épandeurs de produits liquides en nappe. Sont exclus les épandeurs de type pendillards ou enfouisseurs créant une nappe en rectangle.	
Indicateur de forme de la courbe transversale	Permet d'évaluer la forme en triangle, en trapèze ou en "M" de la courbe d'épandage ayant un effet sur l'aptitude au recouvrement. *Notation :* Indicateur de forme = trapèze "10", triangle "6", en M "2"







Lorsque la courbe a une forme en "M", les recoupements risquent de doubler les pics latéraux et sont donc néfastes à la répartition. Avec une forme en triangle, les recoupements ne créent pas de pics supplémentaires, mais ne peuvent éliminer les pics centraux (on peut y associer les formes "en cloche" résultant d'une répartition gaussienne). Avec une forme en trapèze, on peut accéder à une forme idéale si les côtés du trapèze se recoupent exactement en leur milieu.

L'amélioration de cette courbe est actuellement empirique. Il s'agit de trouver pour chaque système d'épandage un compromis entre une expulsion directe vers l'arrière et une projection latérale. Avec des épandeurs à hérissons verticaux, on pourra par exemple jouer sur la proportion prise par les disques inférieurs par rapport aux couteaux de la spire. Pour les épandeurs à table d'épandage, il est recommandé de prévoir des réglages sur les disques permettant de modifier la forme de la nappe d'épandage et la courbe qui en résulte. Pour les buses d'épandage de produits liquides la forme est classiquement en M. On préfèrera l'épandage par pendillards ou enfouisseurs pour lesquels il est possible d'obtenir une courbe parfaite.

I_{R3} Coefficient 3	
Application aux machines dont la largeur de travail n'est pas définie par construction – épandage en nappe (I_{R3S} : nappe liquide ou solide ; I_{R3L} : ligne liquide)	
Indicateur coefficient de variation à la largeur de travail imposée	Rend compte de la régularité de la répartition obtenue après recouvrement à la largeur de travail. ***Notation :*** Critère de C.V (larg. de travail) = écart type / moy. (larg de travail) I_{R3S} = 11 – (0.25 CV) nombre entiers de 0 à 10 – CV en % Critère de DM (larg. de travail) = déviation moyenne sur la largeur de travail. I_{R3L} = 11 – (0.40 DM) nombre entiers de 0 à 10 – DM en %

Cet indicateur est pertinent pour des machines d'épandage en nappe si l'utilisateur impose une largeur de travail tenant compte de la mécanisation de la parcelle (largeur de travaux autres tels que multiples de largeur semée, largeur de pulvérisation). Les largeurs de travaux seront choisies dans la liste : 6, 8, 9, 12, 15, 16 et 18 m. Le choix d'une autre largeur de travail (préconisée par exemple par le constructeur) n'est possible que si son intérêt est démontré.

Cet indicateur peut sanctionner une revendication exagérée sur les produits épandables. Par exemple, avec un produit très léger (compost de déchets verts, fumier de volaille) et une projection latérale réduite, la largeur imposée ne sera pas atteinte et l'indicateur montrera que l'épandeur est inapte à épandre ce produit. Le manuel d'utilisation doit donc être réaliste par rapports aux potentialités d'épandage de l'appareil.

I_{R4} Coefficient 3	
Application à tous les épandeurs –Epandage en nappe (I_{R4S} : nappe liquide ou solide ; I_{R4L} : ligne liquide)	
Indicateur coefficient de variation à la largeur de travail optimale	Indique la meilleure régularité possible (cv minimal) obtenue lors d'un recouvrement optimal (à la largeur de travail optimale). ***Notation :*** Critère C.V (larg. de travail opt.) = écart type / moy. (larg de travail opt.) I_{R4S} = 11 – (0.25 CV) nombre entiers de 0 à 10 – CV en % Critère de DM (larg. de travail) = déviation moyenne sur la largeur de travail. $I_{R4L} = I_{R3L}$

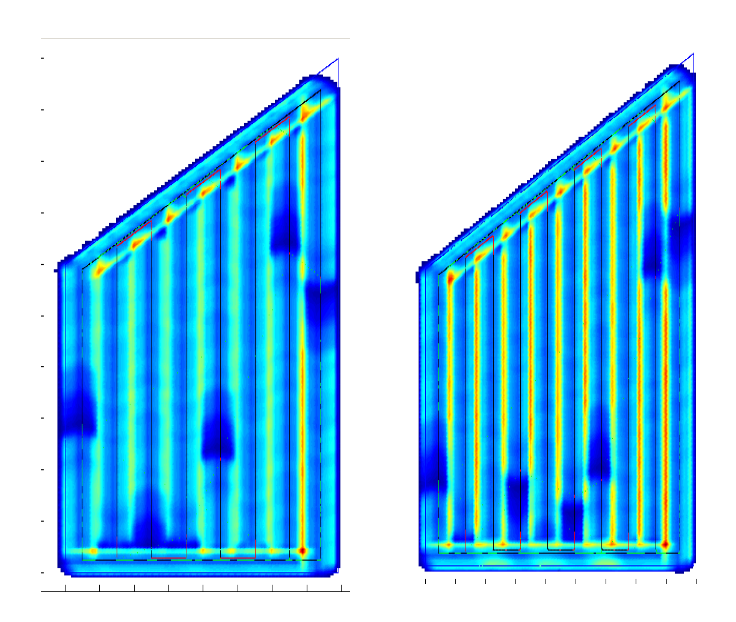
La largeur optimale de travail correspond à un nombre entier de mètres. C'est une qualité de répartition potentielle. De façon artificielle, c'est le chiffre le plus souvent retenu car le moins pénalisant pour l'appareil. Toutefois, l'agriculteur n'ayant pas la possibilité de déterminer facilement la largeur de travail optimale, cet indicateur ne peut résumer à lui seul la performance de l'appareil.

Son amélioration est une première étape d'amélioration de la répartition. Elle est en principe en cohérence avec le type de courbe de répartition obtenue. Si un écart important se produit entre I_{R2} et I_{R4}, il convient d'en rechercher la cause pour y remédier.

I_{R5} Coefficient 3	
Application aux épandeurs de produits solides et épandeurs de produits liquides en nappe. Sont exclus les épandeurs de type pendillards ou enfouisseurs créant une nappe en rectangle	
Indicateur de robustesse du C. V.	Un faible écart de C.V. (5%) est appliqué à la courbe des C.V. à partir du C.V optimal (à la largeur de travail optimale) et reporté sur la largeur. On note les valeurs de largeur min et max correspondantes à cet écart de C.V. L'indicateur de robustesse est égal à la valeur de la plage de largeur arrondie en mètre. *Notation :* Δ L (m) = Lmax (Δ (C.V=5%)) - Lmin (Δ(C.V=5%)) Critère de Robustesse du C.V. = Δ L (m) ou ± Δ L/2 (m) Indicateur de robustesse du C.V.= 8m (± 4m), "10"; 6m (± 3m), "8"; 4m (± 2m),"5"; 2 (± 1m), "2"; 1m (± 0.5m), "1"

Ce critère permet de connaitre l'écart maximal de trajectoire autorisé par rapport à la largeur de travail optimale pour qu'il n'y ait pas de modification de la régularité de la répartition. C'est un complément naturel de l'indicateur de C.V. à la largeur optimale.

Cet indicateur est logiquement lié à la forme de courbe transversale. Il faut chercher à améliorer les deux simultanément. Un guidage GPS devrait être fortement recommandé en cas de faible I_{R5}.



Avec un mauvais I_{R5}, en réduisant la distance entre passages de 1m,

on dégrade fortement la répartition.

Epandage de bordure

Il n'existe pas de test spécifique en épandeurs pour évaluer l'épandage de bordure. Pour plus de précision, on peut se référer à la méthode élaborée pour les distributeurs d'engrais solides (Norme NF EN 13739).

I_{R6} Coefficient 2	
Application aux épandeurs en nappe uniquement	
Indicateur de bordure	Critère de bordure = Largeur de bordure / Largeur de projection en bordure. Nous nous situons en début d'épandage. En l'absence d'un dispositif de bordure, nous prendrons pour largeur de bordure la demi-largeur de travail qui est alors rapportée à la demi-largeur de projection totale. En présence d'un dispositif de bordure, la largeur de bordure est l'écartement entre l'axe de la machine et le bord de la parcelle. ***Notation :*** Indicateur de bordure = si critère de bordure < 0,40, "1" ; si entre 0,40 et 0,45, "2" ; si entre 0,45 et 0,50, "3"; si entre 0,50 et 0,55, "4"; si entre 0,55 et 0,60, "5" ; si entre 0,60 et 0,65, "6" ; si entre 0,65 et 0,70, "7" ; si entre 0,70 et 0,75, "8" ; si entre 0,75 et 0,80, "9" et si >0,80, "10".

L'indicateur de bordure détermine l'aptitude de la machine à épandre correctement en bordure en début de champ sans en projeter à l'extérieur du champ. Certaines situations d'épandage demandent beaucoup de vigilance à ce sujet: Epandage le long d'une route, d'un fossé, d'une culture protégée...

Les possibilités techniques sont multiples: débrayage d'un coté, inclinaison des éléments d'épandage, déviation de la projection par carter. A l'heure actuelle ce type de dispositif est peu répandu, il est donc difficile de préciser quelle technologie sera la plus performante. Dans le cas d'absence de dispositif bordure l'indicateur I_{R6} peut se trouver en contradiction avec l'indicateur I_{R5}.

Les défauts de bordure se retrouvent en fin de champ, mais se conjuguent avec la largeur de la dernière bande à épandre, ce qui est considéré dans l'indicateur suivant.

I_{R7} Coefficient 2	
Application à tous les épandeurs	
Indicateur de tronçonnement de la largeur d'épandage	Il est fonction de la largeur élémentaire de tronçonnement de la largeur d'épandage. En l'absence de tronçonnement, la largeur élémentaire de tronçonnement est égale à la largeur d'épandage. ***Notation :*** > 12 m "0" ; entre 10 et 12 m, "1" ; entre 8 et 10 m, "2"; entre 6 et 8 m, "3"; entre 5 et 6 m, "4" ; entre 4 et 5 m, "5" ; entre 3 et 4 m, "6" ; entre 2 et 3 m, "7" ; entre 1,5 et 2 m, "8"; entre 1 et 1,5 m "9" et <1m "10".

L'indicateur de tronçonnement indique la possibilité de terminer l'épandage d'un champ sur une bande dont la largeur est inférieure à la largeur de travail. Le dispositif de tronçonnement peut être commun avec le dispositif de bordure. Ce dispositif est assez

répandu sur les appareils équipés de rampe. Pour les épandages en nappe, il est généralement absent. La solution de réduire la largeur de travail (tout en conservant la dose par hectare) sans tronçonner peut également être envisagée dans ce cas.

6.3.1.2 Indicateurs de répartition longitudinale

Les indicateurs suivants concernent la répartition longitudinale.

I_{R8} Coefficient 6	
Application à tous les épandeurs	
Indicateur d'étendue dans la zone de tolérance	I_{R8} correspond à la proportion de la durée d'épandage où le débit peut être considéré comme satisfaisant: le débit est compris dans l'intervalle de tolérance (± 15% du débit caractéristique). I_{R8L} correspond aux épandeurs évalués d'après la norme EN13406 (lisier). I_{R8S} correspond aux épandeurs évalués selon la norme EN 13080 (fumier). ***Notation :*** Indicateur d'étendue : pleine échelle de 10 en 10 %, c'est-à-dire Indicateur d'étendue = EZT (en %)/10

Les courbes caractéristiques des épandages comprennent généralement 3 phases : une phase de montée en débit, un palier de débit et une phase de diminution de débit. Le « débit caractéristique » représente la valeur moyenne du palier de débit. C'est le centre de la zone de tolérance, zone comprise entre le seuil inférieur et le seuil supérieur. Une faible étendue dans la zone de tolérance est un point faible de beaucoup d'épandeurs en particulier en produits solides.

Pour les épandeurs de produits liquides, la décroissance du débit est liée à la part relative du débit gravitaire qui décroit au fur et à mesure de la baisse de niveau dans la cuve. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la pression d'air est faible (enfouisseurs).

Pour les épandeurs de produits solides, la décroissance du débit est liée à l'éboulement du produit dans la caisse. Il faut chercher à contrôler cet éboulement ou le prendre en considération pour asservir la vitesse d'extraction.

Exemple de dispositifs correctifs





En liquide un flotteur commande une correction de la pression en fonction de la hauteur de liquide

En solides, un tablier accompagnateur permet le maintien d'une hauteur constante de produit.

(Photo E. Piron)

I_{R10} Coefficient 2	
Application à tous les épandeurs	
Indicateur de recouvrement longitudinal	I_{R10} représente l'intervalle de recouvrement entre la fin d'épandage et le début de l'épandage suivant, de telle sorte que les deux courbes se coupent à 50% de la dose. On exprime cet intervalle de recouvrement en % du temps de déchargement. I_{R10L} correspond aux épandeurs évalués d'après la norme EN13406 (lisier). I_{R10S} correspond aux épandeurs évalués selon la norme EN 13080 (fumier) ***Notation :*** Indicateur de recouvrement = IR <10% (temps de déchargement) "10" ; IR entre 10 et 15%, "8" ; IR entre 15 et 20%, "6" ; IR entre 20 et 25%, "4" ; IR entre 25 et 30%, "2"

L'utilisateur aurait la possibilité de recourir à un recouvrement longitudinal pour combler le manque de produit épandu en fin d'épandage. Cette pratique imposerait de rouler sur une zone déjà épandue, ce qui peut s'avérer très salissant. Il est d'autre part difficile de repérer sur le terrain cette distance optimale de recouvrement.

L'information donnée par cet indicateur recoupe celle donnée par I_{R8} (étendue dans la zone de tolérance). On cherchera à améliorer ces deux indicateurs simultanément).

I_{R11} Coefficient 1	
Epandeurs de produits solides	
Indicateur de Perte	Le critère, en kg perdu / tonne déchargée, est égal au rapport entre la masse tombée au sol et la masse déchargée après vidange totale de l'épandeur. *Notation :* Critère de perte> 10, "0"; entre 10 et 5, "1"; entre 5 et 2.5, "2"; entre 2.5 et 1, "3"; entre 1 et 0.5, "6"; en deçà de 0.5, "10".

Cet indicateur spécifie la quantité de produit tombé au sol sans passer par les disques d'épandage (perte entre le système d'alimentation et celui d'épandage). Ces pertes contribuent directement à une mauvaise répartition du produit au sol.





Avec un produit bien canalisé, on limite les pertes

Avec un produit peu canalisé, on risque des pertes.

6.3.1.3 Indicateurs de nappe d'épandage

Avec la progression des moyens de mesure, les tests d'épandage actuels s'orientent vers une acquisition instantanée des quantités épandues en chaque endroit. Un banc d'essai muni d'une pesée continue des bacs de réception permet de dresser une cartographie de la projection d'épandage Ceci permet de reconstituer la "nappe d'épandage" obtenue avec l'appareil testé. L'analyse de cette nappe semble prometteuse pour identifier les caractéristiques de projection qui vont constituer les propriétés de répartition transversale et longitudinales. Ces indicateurs sont proposés afin de pouvoir intégrer ultérieurement les développements de la recherche initiée sur ce sujet.

I_{R12} Coefficient 0	
Application aux épandeurs de produits solides et épandeurs de produits liquides en nappe.	
Indicateur de nappe d'épandage - qualitatif	I_{R12}=10: La nappe ressemble à celle d'un distributeur d'engrais minéraux: 2 croissants qui s'additionnent avec une répartition axiale gaussienne et une répartition radiale gaussienne. I_{R12}=8: La nappe présente quelques discontinuités ou une accumulation en circonférence montre un amoncellement marqué de grosses particules à projection longue. I_{R12}=6: La nappe présente des zones individualisées surdosées ou trop de retours vers l'avant. I_{R12}=4: La nappe présente une forte surdose axiale commençant près de l'épandeur. I_{R12}=2: La nappe présente plusieurs zones fortement surdosées dont une zone axiale et proche de l'épandeur. La modification des réglages disponibles a peu d'effets sur la répartition.

Un bon épandeur doit avoir une projection contrôlée, ajustable par les réglages disponibles.

I_{R13} Coefficient 4	
Application aux épandeurs de produits solides et épandeurs de produits liquides en nappe.	
Indicateur de nappe d'épandage- quantitatif	L'établissement de l'indicateur demande de déterminer la répartition radiale globale de la nappe établie pour des anneaux concentriques de rayon croissant. L'observation de cette courbe permet de déterminer (visuellement) un rayon critique correspondant à la longueur mini de largeur de projection. L'indicateur correspond à la quantité présente au-delà de ce rayon critique. ***Notation :*** I_{R13}=10: Quantité épandue au-delà du rayon critique > 90% I_{R13}=8: de 80 à 90%. I_{R13}=6: de 70 à 80% I_{R13}=4: de 60 à 70%. I_{R13}=2: de 50 à 60%

Il s'agit de la version quantitative de l'indicateur précédent.

6.3.2 Dosage

Le dosage concerne la quantité de produit épandue sur une surface donnée (t/ha ou m^3/ha). Sur le plan pratique, la question du dosage se présente différemment selon les produits utilisés (effluents d'élevage ou boues de station d'épuration). Pour les effluents d'élevage, les quantités à épandre sont estimées de façon peu précise. On améliore l'estimation en évaluant les quantités transportées ou épandues d'après le nombre de voyages effectués et la masse individuelle de chaque chargement. Pour les boues de station d'épuration, les quantités livrées ont été pesées et les surfaces d'épandage correspondantes ont été établies dans les documents prévisionnels. Il est difficile d'obtenir des témoignages sur la conduite tenue en cas d'erreur de dosage ayant conduit soit à un surdosage, soit à un sous dosage. En cas de surdosage, le tas sera fini avant que l'épandeur ait épandu le champ en entier. Une partie du champ ne recevra pas d'épandage et l'autre partie sera surdosée entraînant des impacts environnementaux correspondants plus forts. Si, à l'inverse, le réglage de l'appareil n'a pas apporté une dose suffisante, il restera une partie du tas une fois la parcelle entièrement épandue. Le chauffeur procèdera vraisemblablement à un épandage complémentaire de façon à liquider le restant du tas. Nous avons donc également un risque de surdosage, cette fois ci plus localisé, mais plus intense en proportion.

Le sous dosage entraîne un risque d'apport fertilisant insuffisant. Le surdosage se traduit par des forts potentiels de lessivage de nitrates. Avec les effluents d'élevage, des observations de chantiers effectuées par les CUMA ont montré que les surdosages étaient plus fréquents que les sous dosages. Nous retiendrons principalement sur le plan environnemental ce risque de lessivage de nitrates pouvant conduire à des phénomènes d'eutrophisation des eaux.

I_{D1} Coefficient 3	
Tous les épandeurs	
Indicateur essai d'obtention de la dose	On effectue un premier essai transversal pour connaître la largeur d'épandage. On étalonne les vitesses de tapis, ouverture de porte ou vannes et autre paramètres de réglage suivant les indications du constructeur (ou méthode simple à défaut). A partir de la différence "débit obtenu - débit de consigne", on obtient l'écart entre le débit caractéristique mesuré et le débit souhaité qui définit l'indicateur I_{D1}. ***Notation :*** Surdosage I_{D1} = 10 – 0,25 Cod nombre entier de 0 à 10 Sousdosage I_{D1} = 10 – 0,2 Cod nombre entier de 0 à 10 ***S'il n'y a pas de dispositif de réglage de débit ou s'il n'existe pas d'abaque et de tableaux de réglage, l'indicateur prend la valeur 0 par défaut.***

L'indicateur ID1 a pour but de vérifier que l'utilisateur puisse atteindre la dose consigne en partant des consignes de réglage proposées par la notice d'utilisation. Certains épandeurs de produits liquides ont des dispositifs d'épandage "tout ou rien" contraignant l'utilisateur a adapté sa vitesse d'avancement pour pouvoir obtenir la dose souhaitée, le débit étant constant. Cette particularité implique des potentialités de surdosage et sous dosage accrus du fait de la non maîtrise du débit de l'épandeur. Nous avons donc introduit la notion de valeur 0 par défaut pour les épandeurs ne présentant pas de dispositifs de réglage de débit ou d'abaques et tableaux de 2%.

I_{D2} Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur de réglage du débit	Pouvoir régler le débit le plus efficacement possible est une des qualités que doit posséder un épandeur. Cet indicateur permet d'évaluer la possibilité de réglage de débit de l'épandeur. ***Notation :*** • Pas de réglage : « 0 » • Dispositif de réglage sans index : « 2 » • Dispositif de réglage avec index non étalonné : « 4 » • Dispositif de réglage avec index étalonné (index réutilisable dans une méthode de calcul) : « 7 » • Dispositif de réglage, expression directe du débit et/ou de la vitesse ou intégration dans un calculateur de dose : « 10 »

ID2 a pour but de vérifier que l'utilisateur a des moyens de réglage du débit à sa disposition

I_{D3} Coefficient 1	
Tous les épandeurs	
Indicateur de maîtrise de la largeur de travail	L'information de largeur de travail est indispensable pour maîtriser l'opération d'épandage. Certains dispositifs d'épandage fixent cette largeur par construction. Par contre, l'épandage en nappe pose la difficulté de la détermination de cette largeur de travail. ***Notation :*** Pas de réglage, ni de consigne constructeur : « 0 » Réglage sans index : « 2 » Consigne du constructeur pour l'obtention de la largeur de travail : « 4 » Consigne du constructeur pour l'obtention de la largeur de travail par produit : « 6 » Largeur de travail fixée par construction : « 8 » Largeur de travail réglable avec index en mètre : « 10 »

La notation cumule les points en fonction des critères présents. La notation pourrait porter sur le livret utilisateur de la machine, mais pourrait concerner également les pictogrammes, autocollants collés sur l'épandeur. Des constructeurs collent directement des abaques sur la caisse. L'abaque est à portée de l'opérateur et est de taille lisible.

I_{D4} Coefficient 1	
Tous les épandeurs	
Indicateur de quantification de la matière épandue	Cet indicateur permet de préciser si l'épandeur fourni ou non à l'opérateur la possibilité de connaître très exactement la quantité de matière à épandre soit en masse, soit en volume. Pour le calcul de l'indicateur, la détermination des éléments fertilisants est traitée sous forme de bonus. ***Notation :*** Sans détermination de volume ou de masse : « 0 » Information minimale du volume avec ou sans rehausses : « 2 » Mesure statique : « 6 » Mesure dynamique : « 8 » Détermination des éléments fertilisants : « +2 »

I_{D5} Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur de calcul du débit	Le débit est une composante essentielle pour appliquer la dose. On évalue ici la présence et le niveau d'aide à l'obtention de ce débit. ***Notation :*** Sans abaque/tableau : « 0 » Abaque/tableau, vérification de la dose à posteriori après un premier épandage : « 2 » Abaque/tableau, aide au réglage/méthode avant le premier épandage : « 4 » Boîtier électronique utilisant l'abaque/tableau constructeur : « 6 ») Calculateur pilotant le réglage de débit à partir de la vitesse d'avancement et de la largeur de travail et de la masse ou du volume de matière épandue et de la dose à appliquée : « 7 » Asservissement à la vitesse d'avancement instantanée : « +1 » Asservissement au débit instantané « +2 »

I_{D6} Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur d'information sur les potentialités de l'épandeur	Cet indicateur permet de noter la présence des consignes de sécurité, des caractéristiques techniques, des règles d'entretien et de maintenance de l'épandeur dans le livret utilisateur et sur la machine par des pictogrammes et des autocollants. Le livret doit préciser le périmètre et les limites d'utilisation de l'épandeur : respect des sols, gamme de produits utilisable, plage d'utilisation de l'épandeur. ***Notation :*** Sécurité « +1 » Caractéristiques techniques « +1 » Conseils d'utilisation et d'entretien « +1 » Consignes sur le respect des sols « +1 » Gamme de produits utilisables « +1 » Plage d'utilisation de l'épandeur (débit, dose…) « +1 » Présence d'abaque et de tableaux de réglages « +2 » Aides et méthodes de réglages « +2 »

Ces différents points sont des critères décomposés et doivent considérer le périmètre et les limites d'utilisation de l'épandeur. La documentation, en français, doit correspondre à la machine livrée et aux produits qu'elle peut épandre. Elle doit proposer une démarche complète de réglage pour aboutir à la dose recherchée.

Exemple de défaut à éviter : Documentation valable pour de nombreux modèles et équipements, ne précisant pas les produits pouvant être épandus dans la configuration actuelle, ne proposant pas de méthode de réglages pas à pas, nécessitant des va et vient entre chapitres pour une même information.

I_{D7} Coefficient 0	
Tous les épandeurs	
Indicateur de traçabilité de l'épandage	Cet indicateur permet la traçabilité de l'épandage. Chaque critère est indépendant. Chaque épandeur, en fonction de son niveau d'équipement, aura ou non l'un ou l'autre des équipements correspondants aux critères énumérés. La note finale est obtenue par le cumul des points. ***Notation :*** Sans « 0 » Les éléments suivants sont notés : surface - temps - quantité - dose moyenne « 2 » Identification de la parcelle épandue « 2 » Cartographie passage itinéraire dans la parcelle « 2 » Cartographie dosage « 2 » Exportation des données « 2 »

L'indicateur ID7 est noté sur 10 points comme les autres indicateurs. La note maximale est obtenue si l'épandeur évalué possède des équipements permettant de remplir chacun des critères correspondants.

Sa mise en place est née du besoin de plus en plus important de la notion de traçabilité lors des épandages de boues de station d'épuration. Cependant son coefficient est de "0" pour des questions d'affectation spécifique au chantier.

6.3.3 Fractionnement

Nous avons rangé sous le mot fractionnement plusieurs phénomènes convergents. Le premier de ces phénomènes concerne la **fragmentation** des produits pâteux ou solides pendant le processus d'épandage. Il faut éviter la présence de grosses mottes qui concentrent l'apport de fertilisants en un point et risquent aussi de fermenter une fois enfouies provoquant des zones de répulsions pour les racines de la culture. Le corollaire de ce phénomène est la finesse de fragmentation. Elle est par exemple recherchée pour un fumier si l'on veut éviter des terres "soufflées" (poches d'air peu propices au contact "sol- graines") après enfouissement.

Nous avons également appliqué la notion de fractionnement aux produits organiques liquides par assimilation en considérant le cas des épandages en lignes (pendillards ou enfouisseurs) où le critère d'écartement entre lignes est aussi lié à la facilité d'absorption des nutriments par le système racinaire des plantes.

Avec la formation de gros paquets de boues non dissociés, souvent observés avec des boues pâteuses, les boues enfouies n'évoluent pas, sont répulsives pour les racines et surtout sont propices à la dénitrification de l'azote contenu dans les boues ("anaerobic hot spots"). Cette dénitrification produit du protoxyde d'azote (N_2O), gaz à fort pouvoir d'effet de serre (296 fois plus puissant que le CO_2).

I_{F1} Coefficient 1	
Epandeurs de produits solides	
Indicateur d'émiettement	Utilisation de 5 grilles de 1m x 1m avec maillage de 10 cm x 10 cm. On évalue 2 critères. Critère (1) = nombre de cases contenant du fumier émietté pour chaque grille. Critère (2) = nombre de cases vides ou contenant du fumier en tas (plusieurs cases adjacentes obligatoirement) pour chaque grille ***Notation :*** Indicateur d'émiettement= égal au nombre de cases contenant du fumier émietté /10 (1), ou égal au complément du nombre de cases vides ou avec tas (2).

L'émiettement est lié à l'énergie de déchiquètement: vitesse, diamètre et agressivité des rotors. La présence d'un broyeur interne (à chaînes ou à couteaux) s'avère efficace dans le cas des tables d'épandage. Il faut trouver un compromis entre puissance nécessaire et efficacité.

I_{F2} Coefficient 2	
Epandeurs de produits solides	
Indicateurs de paquets	Comptage du nombre total de paquets ou de tas au sol d'un diamètre > 15 cm sur la largeur d'épandage et sur une longueur de 100 m en 1 seul passage. ***Notation :*** Critère = nombre de paquets au m². Indicateur = 1 paqt/10 m², "0"; 1 paqt/50 m², "5"; 1 paqt/100m², "10", 1 paqt/10*x m², "x"

La présence de gros paquets n'est pas toujours liée à l'émiettement. Il peut s'agir en effet de gros morceaux arrachés et projetés ou bien de chute de produis accumulés dans des zones mortes de l'appareil. Il est donc nécessaire de canaliser les flux sans rupture de charge. La présence de paquets est assez courante en épandage de boues collantes.



Exemple de paquets en épandage de fumier

I_{F3} Coefficient 1	
Epandeurs de produits liquides en ligne	
Indicateur d'intervalles de lignes	Pour les épandages en ligne (enfouisseurs, pendillards), l'écartement entre lignes ne doit pas être excessif afin de ne pas générer des discontinuités de fertilisation. Les écartements *e* inférieurs ou égaux à 10 cm prendront la valeur 10. Les écartements *e* > 60 cm prendront la valeur 0. ***Notation :*** I_{F3} = (50-(e-10))/5

La diffusion transversale du lisier dans le sol est exprimée par l'indicateur d'intervalle de lignes.

Nous ne disposons pas de données permettant de fournir un indicateur plus précis. Cet indicateur est destiné à une première appréciation du problème à compléter par une observation du foisonnement et de la fissuration générée qui vont également intervenir sur la diffusion transversale.

6.3.4 Projection

En matière de service rendu, il s'agit d'éviter le phénomène de volatilisation ammoniacale durant la projection des matières organiques (depuis la sortie de l'épandeur jusqu'au sol). La volatilisation ammoniacale est proportionnelle à la concentration en ammoniac gazeux dissous NH_3 et à la surface d'échange (ou surface de la gouttelette) et au temps de séjour dans l'air.

I_{P1} **Coefficient 0**	
Epandeurs de produits liquides projetés	
Indicateurs de gouttes fines	L'épandeur ne doit pas émettre de gouttes de moins de 100 microns de diamètre. Si l'on aperçoit des gouttes fines à l'œil nu, une mesure de diamètre de goutte devra être réalisée. En cas de production de gouttes fines, l'indicateur prend la valeur 0 qui est éliminatoire dans ce cas précis. ***Notation*** Evaluation qualitative (oui/non) de l'indicateur

Nous nous intéresserons également à la taille des gouttes les plus fines. Il est impératif que la dimension des gouttes ne descende pas en dessous de 100 microns. Au dessous de cette taille, nous risquons en effet une dérive importante. Cette dérive génère un risque sanitaire, par propagation d'éléments pathogènes tels que les bactéries *Escherichia coli*. La réglementation interdit l'épandage par aéroaspersion sans définir de taille minimale des gouttes. Nous avons fixé cette taille à 100 microns par consultation des résultats de pulvérisation, sachant toutefois que les laboratoires d'essais n'ont probablement pas les mêmes moyens de mesure de diamètre des gouttes. Les gouttes obtenues en épandage sont par principe plus grosses que celles obtenues en pulvérisation.

I_{P2} **Coefficient 1**	
Epandeurs de produits liquides projetés	
Indicateurs de diamètre de gouttes	La volatilisation d'azote ammoniacal en cours de projection dépend fortement du diamètre des gouttes. ***Notation :*** I_{P2} = diamètre de goutte en mm (valeur entière de 0 à 10)

I_{P3} **Coefficient 1**	
Epandeurs de produits liquides projetés	
Indicateurs de portée de projection	La volatilisation d'azote ammoniacal en cours de projection dépend fortement du temps de séjour en l'air donc de la portée de projection. ***Notation :*** I_{P3} = 10 – portée (en m) - (valeur entière de 0 à 10)

Ces deux indicateurs renseignent sur le risque de volatilisation ammoniacale en cours de projection. Ils jouent également sur la production d'odeurs qui n'a pas été étudiée dans le cadre d'Ecodéfi.

Exemple de dispositif à éviter : épandage par aspersion comme pratiqué aux Etats Unis sur de longues portées (30 m) avec en outre des phénomènes d'évaporation. En France, l'irrigation est possible avec des effluents issus de traitement. Des buses spécifiques garantissent un diamètre de gouttes suffisant.

6.3.5 Indicateurs d'enfouissement – dépôt

Ces indicateurs ne concernent que les épandeurs de produits liquides en ligne (enfouisseurs, pendillards). Ils permettent d'évaluer la bonne répartition des produits liquides sur le sol ou leur bon enfouissement. La notation de profondeur d'enfouissement a également été abordée. Ces systèmes d'épandage ont été développés pour permettre une réduction des émissions azotées lors de l'épandage de produits liquides en comparaison des dispositifs d'épandage classiques (buses). Il est avéré que l'augmentation de profondeur d'enfouissement diminue la volatilisation ammoniacale mais augmente les émissions de N2O ainsi que la puissance nécessaire à l'enfouissement.

Pour le lisier épandu en lignes ou en bandes, la réduction de la largeur de dépôt va également permettre de diminuer la volatilisation ammoniacale puisque la surface de contact entre le produit et l'air sera réduite.

Exemple de système particulier : Le système Biocover recouvre le lisier épandu par de la mousse afin de limiter la volatilisation. Il est à noter que l'analyse environnementale nécessite dans ce cas la prise en considération de l'agent moussant apporté. Il en est de même pour l'ajout d'acide destiné à baisser le pH et réduire la volatilisation ammoniacale

Exemple de système de dépôt de produit liquide en lignes réduisant la volatilisation ammoniacale :



I_{E1}	**Coefficient 1**
Epandeurs avec enfouisseurs	
Indicateurs de pourcentage de surface de produit sur le sol (non enfoui)	La surface (S%) de produit liquide sur le sol (non enfoui) est exprimée en %. S% est déterminée à partir de photographie de surface du sol. L'échantillon est borné par un cadre métallique de dimensions connues (50 cm x 50 cm), posé à même le sol. Si du produit est partiellement présent, il faut alors délimiter la surface d'exposition graphique sur une ligne d'épandage. A partir de cette image, il conviendra de déterminer la part de surface occupée par le produit non enfoui et de ramener cette surface à l'écartement entre éléments. $S\% = \frac{N_{pn}}{(N_{pt} - N_{pe}) \times 2 \times e}$ Où N_{pt}= nombre total de pixels de l'image, N_{pe} = nombre de pixels extérieurs au cadre, N_{pn} = nombre de pixel représentant le lisier non enfoui, S% = surface de produit non enfoui, *e* = écartement entre lignes en mètres ***Notation*** Si S% = 100%, alors **I_{E1}=0,** Si S% = 0%, alors **I_{E1}=10**

I_{E2}	**Coefficient 1**
Epandeurs avec enfouisseurs	
Indicateurs de profondeur d'enfouissement	On considère que la profondeur idéale d'enfouissement est de 10 cm. ***Notation*** La notation de l'indicateur serait : I_{E2} = Profondeur en cm (de 0 à 10 cm) La note prend la valeur de la profondeur. Si la profondeur est > à 10 cm, on considère que la note prend 10.

I_{E3}	**Coefficient 1**
Epandeurs de liquides en lignes	
Indicateurs de pourcentage de produit sur le sol (surface couverte)	Le calcul de l'indicateur est le même que pour I_{E1}, seule la notation est différente. $S\% = \frac{N_{pn}}{(N_{pt} - N_{pe}) \times 2 \times e}$ Où N_{pt}= nombre total de pixels de l'image, N_{pe} = nombre de pixels extérieurs au cadre, N_{pn} = nombre de pixel représentant le lisier non enfoui, S% = surface de produit non enfoui, *e* = écartement entre lignes en mètres ***Notation*** Si S%= 100%, alors **I_{E3}=10,** Si S% = 0%, alors **I_{E3}=0**

6.3.6 Tassement

Il s'agit également d'un phénomène que nous souhaitons limiter au maximum de façon à améliorer le service rendu des machines d'épandage. Le compactage de surface sera résorbé par le travail du sol réalisé pour l'enfouissement de la boue. Le compactage au delà des 10 premiers cm ne sera pas, par contre, corrigé.

Le tassement peut avoir de nombreux effets sur l'environnement. Il augmente l'énergie nécessaire au travail du sol, il réduit la porosité du sol créant des phénomènes d'anoxie et de production de protoxyde d'azote (N_2O). Il provoque également des conditions de croissance défavorables pour les racines des plantes (mauvaise pénétration, asphyxie…) entraînant une diminution du rendement et pas conséquent un moindre prélèvement en éléments fertilisants qui deviennent alors excédentaires.

I_{T1} Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur de contrainte	On mesure la surface de contact pneu – sol *S* par projection de plâtre ou de peinture. On mesure la force F (kN) exercée par la roue sur le sol. La contrainte C (kPa) est égale au rapport F (kN) / S (m^2). L'indicateur prend une valeur 10 pour une contrainte inférieure à 50 kPa et 0 pour une valeur supérieure à 200 kPa. ***Notation*** I_{T1} = 13 – 0,065 C – valeurs entières entre 0 et 10

La surface de contact dépend des dimensions des pneus (largeur, diamètre), de la pression de gonflage et de la souplesse de la carcasse. Cette valeur intéresse la circulation sur sol agricole pour ne pas le détériorer. Il faut généralement trouver un compromis pour une bonne circulation sur route et une bonne circulation sur sols cultivés. Le télé-gonflage est une solution à cette contradiction d'objectifs.

Si les épandages sont effectués uniquement l'été sur sol dur et sec, la raison d'être de cet indicateur se trouve diminuée.

I_{T2} Coefficient 1	
Tous les épandeurs	
Indicateurs de proportion de surface tassée	Le critère retenu est la proportion de surface tassée S_T% $S_T\% = \frac{largeur\ de\ trace\ de\ pneus \times 2}{largeur\ de\ travail}$ ***Notation*** I_{T2}=12 – 40 S_T% – valeurs entières entre 0 et 10

A contrario de l'indicateur précédent, l'usage de pneus larges réduit la valeur de cet indicateur. Pour cette raison, il faut considérer l'ensemble des indicateurs (ornières + tassement) dans le choix des pneumatiques.

I_{T3} Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateurs de tassement profond	L'indicateur de tassement profond est calculé à partir de la masse par essieu sachant que plus un épandeur est lourd, plus il génère de tassement profond ne pouvant être corrigé. *Notation* I_{T3}= 18 – (18 * masse par essieu / 14). Valeur entière de 0 à 10 Masse par essieu en tonnes, pour les 2 roues de l'essieu 14 t: I_{T3}= 0; 13 t: I_{T3}= 1; 10 t: I_{T3}= 5; 7t: I_{T3}=9; 6 t: I_{T3}= 10

Le tassement profond, en dessous de l'horizon travaillé, ne peut être corrigé. Les sols limoneux, particulièrement sensibles, n'ont pas de capacité à se restructurer d'eux même. La réduction de la charge à l'essieu réduit la valeur de cet indicateur.

6.3.7 Orniérage

Il s'agit de prendre en compte l'ornière laissée par le passage d'un ou plusieurs pneus et pouvant générer des **ruissellements** et des pertes de produits organiques. Lorsque l'épandage vient d'être effectué et que le produit épandu n'a pas encore été enfoui, une averse peut survenir. L'ornière concentre le courant qui risque alors d'arracher des particules de boue et de sol et les emporter hors de la parcelle. Cette quantité emportée est considérée à la fois comme une perte d'éléments fertilisants et une pollution des eaux réceptrices. L'orniérage et le tassement des sols sont fortement corrélés du fait qu'ils sont tous les deux liées aux pneus et à la charge par essieux.

I_{O1} Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur de profil d'ornières	Afin de déterminer un indicateur de profil d'ornières, il faut dans un premier temps effectuer avec la machine un passage en terrain meuble et relever la géométrie de la trace au sol. On effectue ensuite les calculs permettant d'obtenir une vitesse d'eau qui détermine la valeur de l'indicateur. *Notation* On définit alors l'indicateur de profil d'ornières comme la valeur entière calculée suivant la formule $I_{O1} = 10 – (v \times 15)$ où v est la vitesse de l'eau dans l'ornière.

Exemples calculés			
Vitesse d'eau	0,19 m/s	0,22 m/s	0,57 m/s
Indicateur	7	7	1

Les profils canalisant le mieux l'écoulement d'eau sont les plus mauvais. Si les épandages sont effectués uniquement sur terrain plat, la raison d'être de cet indicateur se trouve diminuée.

I_{O2} Coefficient 1	
Tous les épandeurs	
Indicateurs de pourcentage de surface d'ornières	La quantité de produits emportés dépend de la surface totale d'ornières. *Notation* Comme $S_O\%=S_T\%$, $I_{O2} = I_{T2}$

6.3.8 Puissance efficience

Les besoins de puissance pour réaliser un épandage peuvent se décomposer (avec les technologies actuelles) en trois parties. La **puissance mécanique** générée par la prise de force du tracteur sert à entraîner les organes de dispersion, de fractionnement et d'obtention du débit. On lui substitue parfois, pour des raisons pratiques, une **puissance hydraulique** (circuit d'huile hydrostatique) à moindre rendement. Il faut enfin rajouter en troisième lieu la **puissance nécessaire à la traction** qui varie en fonction des roues et pneumatiques utilisés. Cette puissance doit être rapportée au travail fourni, ce qui introduit la notion d'efficience.

6.3.8.1 Indicateurs de puissance nécessaire à la traction

Il convient de distinguer trois indicateurs différents répartis en deux types de situations. Les deux premiers indicateurs concernent les efforts occasionnés par le roulement nécessaire au déplacement des machines. Le troisième concerne l'effort de traction lié à l'interaction machine sol. ·

- La traction sur route : elle correspond au transport du produit sur la route = IPE1route ·
- La traction au champ : elle correspond au déplacement sur la parcelle du produit en cours d'épandage = IPE1champ ·
- La traction de l'enfouisseur au cours de l'épandage = IPE1enf'

6.3.8.2 Indicateurs de traction liés aux efforts occasionnés par la résistance à l'avancement

L'effort de traction ne dépend pas uniquement du diamètre des pneumatiques, comme souvent imaginé. La structure des pneus joue également un rôle sur cet indicateur. Cet effort varie aussi en fonction du revêtement et de la répartition des charges sur les différentes roues.

Deux indicateurs de traction/tonnage sont mis en place : un indicateur de traction/tonnage sur route et un indicateur de traction/tonnage en plein champ car les puissances générées diffèrent entre ces deux phases de chantier d'épandage.

$I_{PE1route}$ Coefficient 1 ou 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur de traction/ tonnage sur route	Les efforts sont mesurés à l'occasion d'un passage sur un segment routier asphalté de référence horizontal. Le critère traction tonnage (CTT_{route}) est l'effort de traction mesuré (daN) par tonne transportée (t). Il est donné pour des valeurs correspondant à la pleine charge. *Notation* $I_{PE1route} = 20 - CTT_{route}/3$ – valeur entière de 0 à 10.

$I_{PE1champ}$ Coefficient 2	
Tous les épandeurs	
Indicateur de traction/ tonnage en champ	Les efforts sont mesurés sur un passage dans le bac à gravillons. Le critère traction tonnage (CTT_{champ}) est l'effort de traction mesuré (daN) par tonne transportée (t). Il est donné pour des valeurs correspondant à la pleine charge. *Notation* $I_{PE1champ} = 17{,}5 - 0{,}1\ CTT_{champ}$ – valeur entière de 0 à 10.

6.3.8.3 Indicateurs de traction liés aux efforts occasionnés par le travail du sol

I_{PE1enf} Coefficient 2	
Enfouisseurs	
Indicateur de traction enfouisseur	Le critère CTE (critère traction enfouisseur) est l'effort de traction mesuré (daN) par mètre de largeur de travail (m). Il est donné pour les valeurs correspondant à la profondeur et la vitesse d'avancement moyenne préconisées par le constructeur de l'épandeur. *Notation* $I_{PE1\ Enf} = 10 - 0.01\ CTE$ – valeur entière de 0 à 10.

Dans le cadre de l'essai exploratoire du projet Ecodefi, un essai enfouissement a été réalisé au champ. Les paramètres de mise en oeuvre de cet essai sont multiples : Résistance mécanique du sol évoluant en fonction de la nature du sol, de la couverture (prairie, chaumes, sol nu, préparation préalable du sol, zones de compaction superficielle) et des conditions climatiques, surface nécessaire importante, essai coûteux en personnel. Pour éviter ces écueils, il conviendra par la suite d'étudier la possibilité d'une conduite d'essai analytique reprenant le concept du bac à gravillons à savoir la mise en oeuvre de substrat(s) entretenu (s) permettant de reproduire les conditions d'essais.

6.3.8.4 Indicateurs de puissance nécessaire à l'entraînement en rotation des organes

La puissance nécessaire à l'entraînement en rotation des organes est la somme des puissances nécessaires au bon fonctionnement de l'appareil à savoir :

La puissance à la prise de force :

Elle est destinée à l'entraînement des hérissons démêleurs et disques d'épandage sur la majorité des matériels d'épandage de produits solides. Elle est utilisée à l'entraînement des pompes nécessaires à l'épandage des produits liquides. Enfin, sur de nombreux matériels, elle actionne tout ou partie du circuit hydraulique, lorsque celui-ci est indépendant du circuit hydraulique du tracteur.

La puissance hydraulique

Seule la puissance hydraulique mobilisée en continue pendant la phase d'épandage est considérée.

La puissance électrique

La puissance électrique n'est aujourd'hui mobilisée que pour des circuits de commande. Elle est négligeable devant les autres postes de besoins énergétiques. Des évolutions sont prévisibles puisque, depuis peu, certains tracteurs agricoles sont en capacité de fournir de l'électricité de puissance pour les accessoires.

I_{PE2} Coefficient 1 ou 2	
Tous les épandeurs	
Indicateurs de puissance/débit	Nous cumulons ici la puissance prise de force avec la puissance hydraulique car ces fonctions sont interchangeables entre appareils. Cette puissance est ramenée au débit de chantier, ce qui donne un critère *CPD* en kW/t.min-1 épandue. *Notation* **I_{PE2} = 20 – CPD – valeur entière de 0 à 10.** ***Il est proposé d'obtenir le Critère Puissance Débit CPD pour les fumiers de stabulation en appliquant un coefficient de 1/1,8 à la puissance utilisée pour obtenir le CPD.***

6.3.8.5 Le rendement de chantier

Il était prévu initialement de construire un indicateur relatif au rendement instantané des chantiers d'épandage. Ce rendement instantané dépend de la largeur de travail et de la vitesse d'avancement selon la formule suivante :

Ri (ha/h) = v (km/h) x L (m)/10

Cet indicateur est toutefois lié au produit apporté et à la dose épandue et il est relativement difficile d'établir une notation standard qui puisse refléter correctement les différents rendements de chantier. Nous avons mis en suspens la construction de cet indicateur en raison des difficultés évoquées ci-dessus mais nous considérons cependant que la connaissance du rendement de chantier est nécessaire ^pour pouvoir comparer 2 machines.

I_{PE3} Pas de coefficient	
Tous les épandeurs	
Indicateurs de rendement de chantier maxi (ha/h)	*Notation : en suspens*

6.3.8.6 La polyvalence du matériel

Cet indicateur est donné sur la base des indications portées au manuel d’utilisation. Si ces informations ne sont pas présentes, l’indicateur prend la valeur 0.

I_{PE4} Coefficient 1	
Tous les épandeurs	
Indicateurs de polyvalence	Cet indicateur est construit à partir des indications certifiées par le constructeur sur la polyvalence des fonctions de l'épandeur. S'il n'y a pas de mention dans le manuel d'utilisation, la note est zéro. *Notation* La notation proposée reprend le tableau ci dessous. Elle consiste à compter le nombre de croix (nc) porté au tableau. Ainsi, 2 croix = 0, 3 croix = 1, 12 croix = 10 **I_{PE4} = nc-2.**

6.3.9 Indicateurs de Propreté ressources

Cette partie va permettre de recenser les flux directement émis par la machine, comme la consommation d'huile pour les compresseurs (émise dans l'environnement) Elle fait aussi intervenir le prélèvement de ressources naturelles. Elle prend en compte également les nuisances qui pourront être précisées si l'on dispose de nouveaux moyens pour évaluer ces dernières (comme par exemple les odeurs ou le bruit).

I_{ECO1} Coefficient 2	
Application à tous les épandeurs	
Indicateur de propreté du chantier	*Notation* L'indicateur prend les valeurs suivantes : « 0 » : présence d'huile et de lisier sur le sol ; « 5 » : présence de l'un des produits au sol ; « 10 » ; présence ni de l'un, ni de l'autre des produits.

I_{ECO2} Coefficient 1	
Application à tous les épandeurs dont la largeur de travail n'est pas fixée par le constructeur	
Indicateur de largeur de projection	Critère de largeur de projection = Largeur de travail / (Largeur de projection + Largeur aux pneumatiques). *Notation* Indicateur de largeur de projection: Critère < 0,35, "1" ; entre 0,35 et 0,40, "2" ; entre 0,40 et 0,45, "3"; entre 0,45 et 0,50, "4"; entre 0,50 et 0,55, "5" ; entre 0,55 et 0,60, "6" ; entre 0,60 et 0,65, "7" ; entre 0,65 et 0,70, "8" ; entre 0,70 et 0,75, "9" et >0,75, "10".

L'indicateur de largeur de projection en relation avec la largeur de travail définit la capacité d'épandage sans risque de roulage sur une zone déjà épandue. En effet, dans ce cas, les pneus du tracteur et de la machine sont salis puis par répercussion l'ensemble du matériel. La circulation sur route crée alors de grosses nuisances.

I_{ECO3} Coefficient 2	
Application à tous les épandeurs	
Indicateur de Masse conception	Cet indicateur définit la capacité de la machine à transporter une masse de produit en fonction de sa conception mécanique. Le critère de masse conception est le rapport du volume de la caisse (m^3) divisé par le poids à vide de l'épandeur en tonne. V est le volume de la caisse mesuré. *Notation* Imc = V / PV Indicateur masse conception = i: si i < 1 "0" , 1<i<1,25 "1" , 1,25<i<1.5 "2" , 1,5<i<1,75 "3" , 1,75<i<2 "4" , 2<i<2,25 "5" , 2,25<i<2,5 "6", 2,5<i<2,75 "7" , 2,75<i<3 "8" , 3<i<3,25 "9" et I >3,25 "10"

Cet indicateur correspond au prélèvement de ressources non renouvelables pour la construction de l'appareil.

6.4 ANNEXE 3 : PRINCIPE DE CALCUL DES INDICATEURS DE SERVICE RENDU

Les indicateurs de service rendu synthétisent les informations recueillies par les indicateurs technologiques. Pour toutes les technologies courantes, on effectue simplement une moyenne pondérée de ces indicateurs technologiques. Si de nouveaux principes d'épandage apparaissent, ne permettant pas de mettre en œuvre les essais prévus à ce jour, il va falloir mettre en place de nouveaux moyens d'évaluation. La cohérence entre les diverses grilles d'évaluation se fera au niveau de l'indicateur de service rendu. Des moyens sont aujourd'hui opérationnels pour établir cette cohérence, comme le simulateur d'épandage indépendant des fonctions techniques des appareils d'épandage.

Les indicateurs de service rendus dépendant de plusieurs paramètres, il est plus difficile de les analyser ou de les améliorer. La note, de 0 à 10 est donnée avec deux décimales de façon à bien prendre en compte les évolutions de moins de 1 point. Pour le concepteur, il sera nécessaire de revenir aux indicateurs technologiques pour bien appréhender les facteurs clés.

Récapitulatif des coefficients de pondération des indicateurs technologiques pour le calcul des indicateurs de services rendus :

Le tableau ci-dessous liste les indicateurs technologiques retenus dans le cadre du projet Ecodefi. Les indicateurs proposés s'appliquent à une ou plusieurs technologies ou ne peuvent être calculés pour certaines technologies. Les coefficients entre parenthèses sont les coefficients de pondération des indicateurs technologiques entrant dans le calcul des indicateurs de services rendus. Lorsqu'un indicateur technologique a un coefficient de pondération égal à 0, cela signifie qu'il s'agit d'un indicateur utile à calculer car ayant une vocation pédagogique mais non utile pour quantifier le service rendu. Il peut également s'agir d'un indicateur non utile pour quantifier le service rendu mais indispensable au paramétrage du calculateur simplifié d'ACV.

Lorsqu'une distinction S ou L est apportée sur l'indicateur, cela indique que l'indicateur est calculé différemment en fonction de l'épandage de produits liquides (L) ou solides (S). On distingue quatre grands types de technologies répondant à quatre types d'épandage : ·

- Epandage de produit liquide par enfouissement ·
- Epandage de produit liquide en ligne ·
- Epandage de produit liquide en nappe ·
- Epandage de produit solide en nappe

Les indicateurs ont été mis en place sur la base de technologies courantes. Toutefois, si de nouveaux principes d'épandage apparaissaient, ne permettant pas de mettre en oeuvre les indicateurs prévus à ce jour, il faudra mettre en place de nouveaux moyens d'évaluation et de nouveaux indicateurs.

<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2"></td><td colspan="3">Liquide</td><td rowspan="2">Solide</td></tr>
<tr><td>Enfouisseur</td><td>Ligne</td><td>Nappe</td></tr>
<tr><td rowspan="12">Répartition</td><td rowspan="7">Répartition transversale</td><td>Symétrie</td><td colspan="4">I_{R1} (1)</td></tr>
<tr><td>Forme de courbe</td><td></td><td></td><td colspan="2">I_{R2} (0)</td></tr>
<tr><td>CV à largeur trav.</td><td colspan="2" rowspan="2">$I_{R3L} = I_{R4L}$ (3)</td><td colspan="2">I_{R3S} (3)</td></tr>
<tr><td>CV à largeur opt^{ale}</td><td colspan="2">I_{R4S} (3)</td></tr>
<tr><td>Robustesse cv</td><td></td><td></td><td colspan="2">I_{R5} (3)</td></tr>
<tr><td>Bordure</td><td></td><td></td><td colspan="2">I_{R6} (2)</td></tr>
<tr><td>Tronçon^{t} larg. ep.</td><td colspan="4">I_{R7} (2)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Répartition longitud^{ale}</td><td>EZT</td><td colspan="2">I_{R8L} (6)</td><td colspan="2">I_{R8S} (6)</td></tr>
<tr><td>Recouvrement</td><td colspan="2">I_{R10L} (2)</td><td colspan="2">I_{R10S} (2)</td></tr>
<tr><td>Pertes</td><td></td><td></td><td></td><td>I_{R11} (1)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Nappe d'épandage</td><td>Nappe épandage – qlt</td><td></td><td></td><td colspan="2">I_{R12} (0)</td></tr>
<tr><td>Nappe épandage – qté</td><td></td><td></td><td colspan="2">I_{R13} (4)</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Dosage</td><td colspan="2">Essai obtention dose</td><td colspan="4">I_{D1} (3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Réglage débit</td><td colspan="4">I_{D2} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Maîtrise largeur de travail</td><td colspan="4">I_{D3} (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Quantification matière épandue</td><td colspan="4">I_{D4} (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Calcul du débit</td><td colspan="4">I_{D5} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Informations potentialité épandeur</td><td colspan="4">I_{D6} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Traçabilité épandage</td><td colspan="4">I_{D7} (0)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Fract^{t}</td><td colspan="2">Emiettement</td><td></td><td></td><td></td><td>I_{F1} (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Paquets</td><td></td><td></td><td></td><td>I_{F2} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Intervalles de lignes</td><td colspan="2">I_{F3} (1)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Projection</td><td colspan="2">Gouttes fines</td><td></td><td></td><td>I_{P1} (0)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Diam gouttes</td><td></td><td></td><td>I_{P2} (1)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Portée de projection</td><td></td><td></td><td>I_{P3} (1)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Enfouissement – dépôt</td><td colspan="2">% surface de pdt sur le sol (non enfoui)</td><td>I_{E1} (1)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Profondeur enfouissement</td><td>I_{E2} (1)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">% surface de pdt sur le sol (surf. couverte)</td><td></td><td>I_{E3} (1)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Tass^{t}</td><td colspan="2">Contrainte</td><td colspan="4">I_{T1} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">% surface tassée</td><td colspan="4">I_{T2} (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tassement profond</td><td colspan="4">I_{T3} (2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Orn^{re}</td><td colspan="2">Profil ornières</td><td colspan="4">I_{O1} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">% surface ornière</td><td colspan="4">I_{O2} (1)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Puissance Efficience</td><td colspan="2">Traction/tonnage sur route</td><td colspan="3">$I_{PE1route}$ (2)</td><td>$I_{PE1route}$ (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Traction/tonnage au champ</td><td colspan="4">$I_{PE1champ}$ (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Traction enfouisseur</td><td>I_{PE1enf} (2)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Puissance/débit</td><td colspan="3">I_{PE2} (1)</td><td>I_{PE2} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ha/h</td><td colspan="4">I_{PE3} (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Polyvalence</td><td colspan="4">I_{PE4} (1)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Eco</td><td colspan="2">Propreté</td><td colspan="4">I_{ECO1} (2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Largeur projection</td><td></td><td></td><td colspan="2">I_{ECO2} (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Masse</td><td colspan="4">I_{ECO3} (2)</td></tr>
</table>

6.4.1 Indicateur de service rendu lié à la Répartition

L'indicateur de service rendu lié à la "répartition" varie selon les types d'épandage réalisé. On obtient trois indicateurs de services rendus : un indicateur de service rendu pour les épandages de produits liquides en nappe, un indicateur de service rendu pour les épandages de produits solides en nappe et un indicateur de service rendu pour les épandages de produits liquides en ligne (enfouisseur, pendillards).

$$IR_{ligne} = (I_{R1} + 3\ I_{R3} + 2\ I_{R7} + 6\ I_{R8} + 2\ I_{R10})/14$$

$$IR_{nappe\ liquide} = (I_{R1} + 3\ I_{R3} + 3\ I_{R4} + 3\ I_{R5} + 2\ I_{R6} + 2\ I_{R7} + 6\ I_{R8} + 2\ I_{R10} + 4\ I_{R13})/26$$

$$IR_{nappe\ solide} = (I_{R1} + 3\ I_{R3} + 3\ I_{R4} + 3\ I_{R5} + 2\ I_{R6} + 2\ I_{R7} + 6\ I_{R8} + 2\ I_{R10} + I_{R11} + 4\ I_{R13})/27$$

L'indicateur de service rendu "répartition" est un cas particulier puisqu'il est doublé par les résultats du simulateur d'épandage. Les deux calculs sont indépendants et peuvent légèrement différer. Les deux calculs seront maintenus dans tous les cas possibles de façon produire le maximum d'informations concernant la répartition. Nous disposons ainsi d'une information complémentaire sur le risque d'accumulation locale d'éléments traces: Le simulateur vérifie la dose maximale épandue sur 10 m^2 de la parcelle. Celle ci ne doit pas dépasser 3,3 fois la dose de consigne. Dans ce cas, l'épandage est susceptible de dépasser en un seul passage le flux (sur 10 m^2) maximum autorisé pour 10 ans.

6.4.2 Indicateur de service rendu lié au Dosage

L'indicateur de service rendu "dosage" est obtenu par le calcul suivant :

$$ID = (3\ I_{D1} + 2\ I_{D2} + I_{D3} + I_{D4} + 2\ I_{D5} + 2\ I_{D6})/11$$

6.4.3 Indicateur de service rendu lié au Fractionnement

L'indicateur de service rendu "fractionnement" varie selon les types d'épandage réalisé. On obtient deux indicateurs de services rendus : un indicateur de service rendu pour les épandages de produits liquides en lignes et un indicateur de service rendu pour les épandages de produits solides.

$$IF_{liquide} = I_{F3}$$

$$IF_{solide} = (I_{F1} + 2\ I_{F2})/3$$

6.4.4 Indicateur de service rendu lié à la Projection

L'indicateur de service rendu "projection-volatilisation" est obtenu que pour les épandages de produits liquides en nappe par le calcul suivant :

$$IP = (I_{P2} + I_{P3})/2$$

6.4.5 Indicateur de service rendu lié à l'enfouissement - dépôt

L'indicateur de service rendu "enfouissement – dépôt" varie selon les types d'épandage réalisé. On obtient deux indicateurs de services rendus : un indicateur de service rendu pour les épandages de produits liquides en lignes et un indicateur de service rendu pour les épandages de produits liquides – enfouisseurs.

$$IE_{ligne} = I_{E3}$$

$$IE_{enfouisseur} = (I_{E1} + I_{E2})/2$$

6.4.6 Indicateur de service rendu lié au Tassement

L'indicateur de service rendu "tassement" est obtenu par le calcul suivant :

$$IT = (2I_{T1} + I_{T2} + 2I_{T3})/5$$

6.4.7 Indicateur de service rendu lié à l'orniérage

L'indicateur de service rendu "orniérage" est obtenu par le calcul suivant :

$$IO = (2I_{O1} + I_{O2})/3$$

6.4.8 Indicateur de service rendu lié à la puissance efficience

L'indicateur de service rendu "puissance efficience" varie selon les types d'épandage réalisé. On obtient quatre indicateurs de services rendus :

un pour les quatre types d'épandage identifiés L'indicateur de service rendu "puissance efficience" est obtenu par le calcul suivant :

$$IPE_{enfouisseur} = (2\ I_{PE1route} + 2\ I_{PE1champ} + 2\ I_{PE1enf} + I_{PE2} + I_{PE4})/8$$

$$IPE_{ligne} = (2\ I_{PE1route} + 2\ I_{PE1champ} + I_{PE2} + I_{PE4})/6$$

$$IPE_{nappe\ liquide} = (2\ I_{PE1route} + 2\ I_{PE1champ} + I_{PE2} + I_{PE4})/6$$

$$IPE_{nappe\ solide} = (I_{PE1route} + 2\ I_{PE1champ} + 2\ I_{PE2} + I_{PE4})/6$$

Selon les types de matériels et leurs fonctions, la part de transport sur route est différente suivant les matériels. Ainsi, le plus souvent, un épandeur de liquide chargé transporte sur route le produit à épandre au cours du cycle de chantier.

Le transport sur route représente une part forte de la dépense énergétique. Un épandeur de produits solide est le plus souvent chargé au champ. La plus grande partie du produit qu'il épand n'est pas transportée par lui.

Enfin, certains matériels, ne sont pas conçus pour réaliser du transport sur route. La différentiation du calcul de service rendu entre matériels d'épandage de liquides et de solides tient à ce que : ·

- Le matériel d'épandage de produit liquide est utilisé environ 67% du temps pour réaliser du transport, 13% du temps à épandre et 13% du temps à se remplir (observations sur la base d'un chantier opérant 2 cycles/heure).
- Le matériel d'épandage de produit solide roule très peu en charge sur la route. La part d'énergie consacrée au démêlage et à l'épandage est significative et représente plus autant que la part d'énergie consacrée par le roulage

6.4.9 Indicateur de service rendu lié à propreté ressources et à la gestion des ressources naturelles

L'indicateur de service rendu "propreté – gestion des ressources" varie selon les types d'épandage réalisé. On obtient deux indicateurs de services rendus : un indicateur de service rendu pour les épandages de produits liquides en lignes et un indicateur de service rendu pour les épandages de produits en nappe.

$$IECO_{nappe} = (2\ I_{ECO1} + I_{ECO2} + 2\ I_{ECO3})/5$$

$$IECO_{ligne} = (2\ I_{ECO1} + 2\ I_{ECO3})/4$$

6.5 ANNEXE 4 : DESCRIPTION DU SIMULATEUR D'EPANDAGE



ANR Programme Precodd

Un simulateur d'épandage pour évaluer les performances environnementales des machines d'épandage de produits organiques

Piron Emmanuel, Pradel Marilys, Thirion François
Cemagref, UR TSCF, Domaine des Palaquins, F-03150, Montoldre, France – emmanuel.piron@cemagref.fr

Le simulateur d'épandage est un outil informatique conçue avec Matlab® pour évaluer les performances d'épandage d'une machine dans des conditions géographiques réelles et à partir des résultats des performances technologiques des machines obtenus au banc d'essai.

Résultats des tests au banc

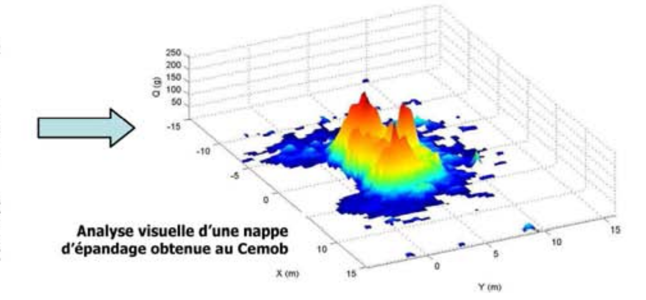


Test au Cemob (Cemagref Organic Bench), Montoldre, France

Le test d'épandage au banc d'essai fournit :

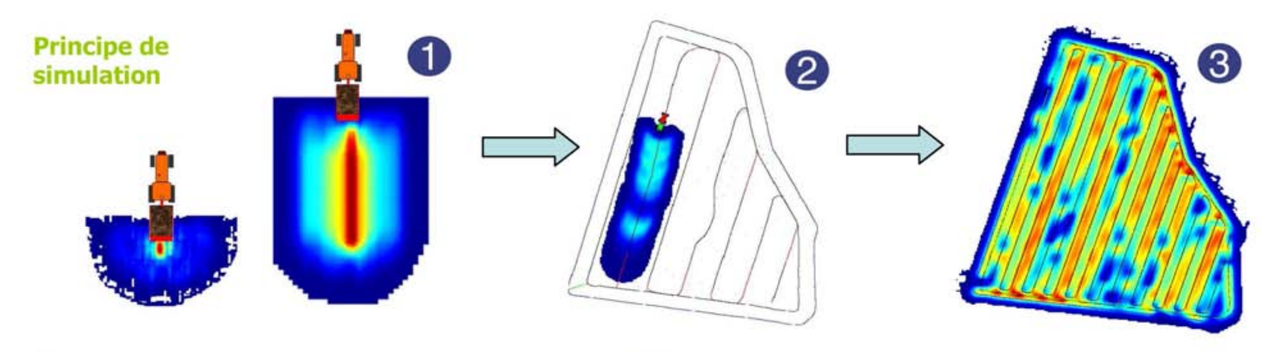
1) La nappe d'épandage i.e. la répartition spatiale instantanée du matériau épandu

2) Les variations de débit massique en fonction du temps de déchargement (répartition longitudinale).



Analyse visuelle d'une nappe d'épandage obtenue au Cemob

Principe de simulation



❶ Au point de départ, la répartition de l'épandage est équivalente à la nappe d'épandage.
❷ Puis, de manière continue, les nappes sont additionnées les unes aux autres en fonction du déplacement de l'épandeur.

❸ Cette addition des nappes se fait selon une trajectoire pertinente obtenue à l'aide de coordonnées métriques ou de données GPS standard. Les quantités appliquées sont calculées, en chaque point du champ, par cumul des nappes d'épandage pondérées par les données de débit massique.

Résultats de simulation

Une analyse des quantités épandues est fournie par le simulateur comme indiqué sur les figures a et b.

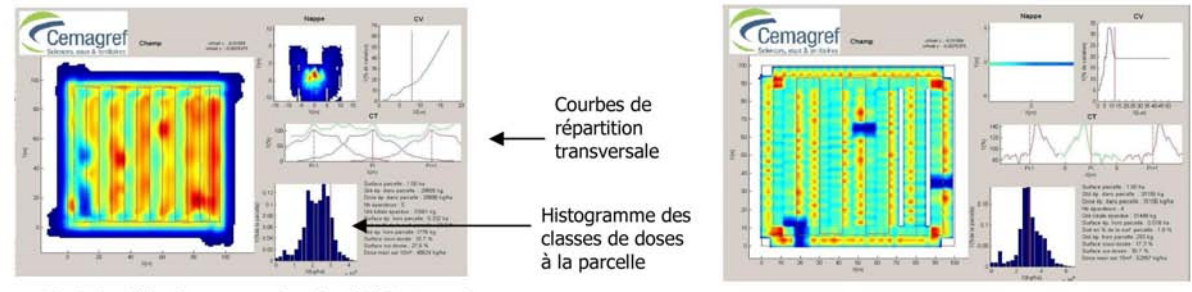


Figure a. Simulation d'épandage pour un épandeur à hérissons verticaux

Figure b. Simulation d'épandage pour une tonne à lisier munie de pendillards

Conclusion



Le simulateur d'épandage peut être utilisé pour répondre à différents objectifs.

- Etablissement d'une cartographie des doses appliquées,
- Evaluation de la qualité de la répartition spatiale dans des conditions parcellaires spécifiques,
- Evaluation du potentiel d'amélioration de la qualité d'application parcellaire en vue de l'écoconception des machines d'épandage,
- Evaluation de l'influence des pratiques des agriculteurs sur la qualité d'application parcellaire.

6.6 ANNEXE 5 : DESCRIPTION DES RISQUES LIES A L'EPANDAGE ET DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ASSOCIES

Le présent document a pour objectif de présenter les risques générés par l'épandage et de faire le lien entre la machine, les indicateurs technologiques et les impacts environnementaux associés.

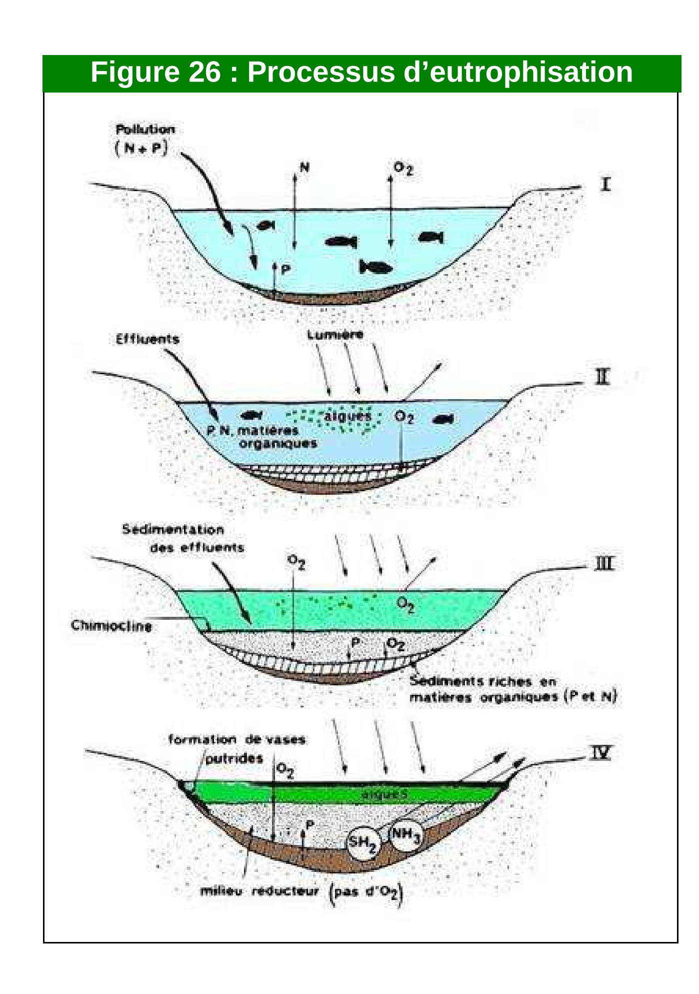
6.6.1 DESCRIPTION DES PRINCIPAUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ISSUS DES RISQUES LIES A L'EPANDAGE

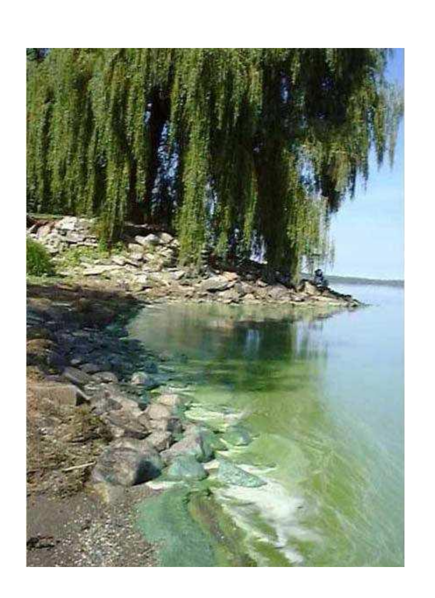
Les impacts environnementaux présentés ci-après sont représentatifs des principaux impacts générés par l'utilisation des machines d'épandage. Ils ont été identifiés suite aux ACV préliminaires réalisées dans le cadre du projet Ecodefi. Les impacts liés à la santé humaine et à la santé des écosystèmes (écotoxicité terrestre et aquatique) ne sont pas pris en compte dans ce document.

6.6.1.1 Eutrophisation

Cause : production de molécules eutrophisantes dans le milieu naturel (NO_3, PO_4, NH_3)
Lien avec la machine : type d'épandage impactant sur le lessivage de NO_3 ou le ruissellement de P_2O_5, répartition et dosage des produits épandus.

Figure 26 : Processus d'eutrophisation







L'eutrophisation est un enrichissement d'un milieu en éléments nutritifs (transfert d'N par ruissellement et drainage et de P par érosion) entrainant un développement des algues en surface qui à leur tour vont entraîner une augmentation de la charge en matière organique des milieux. Cette matière organique va être consommée par des bactéries aérobies qui vont faire diminuer la teneur en oxygène des couches inférieures des lacs et rivières et entraîner en conséquence une augmentation des bactéries anaérobies.

Il y a donc une asphyxie du milieu, une diminution de la qualité de l'eau et la mort des poissons. Les bactéries anaérobies vont libérer du NH_3, CH_4, H_2S générateur d'odeurs nauséabondes.

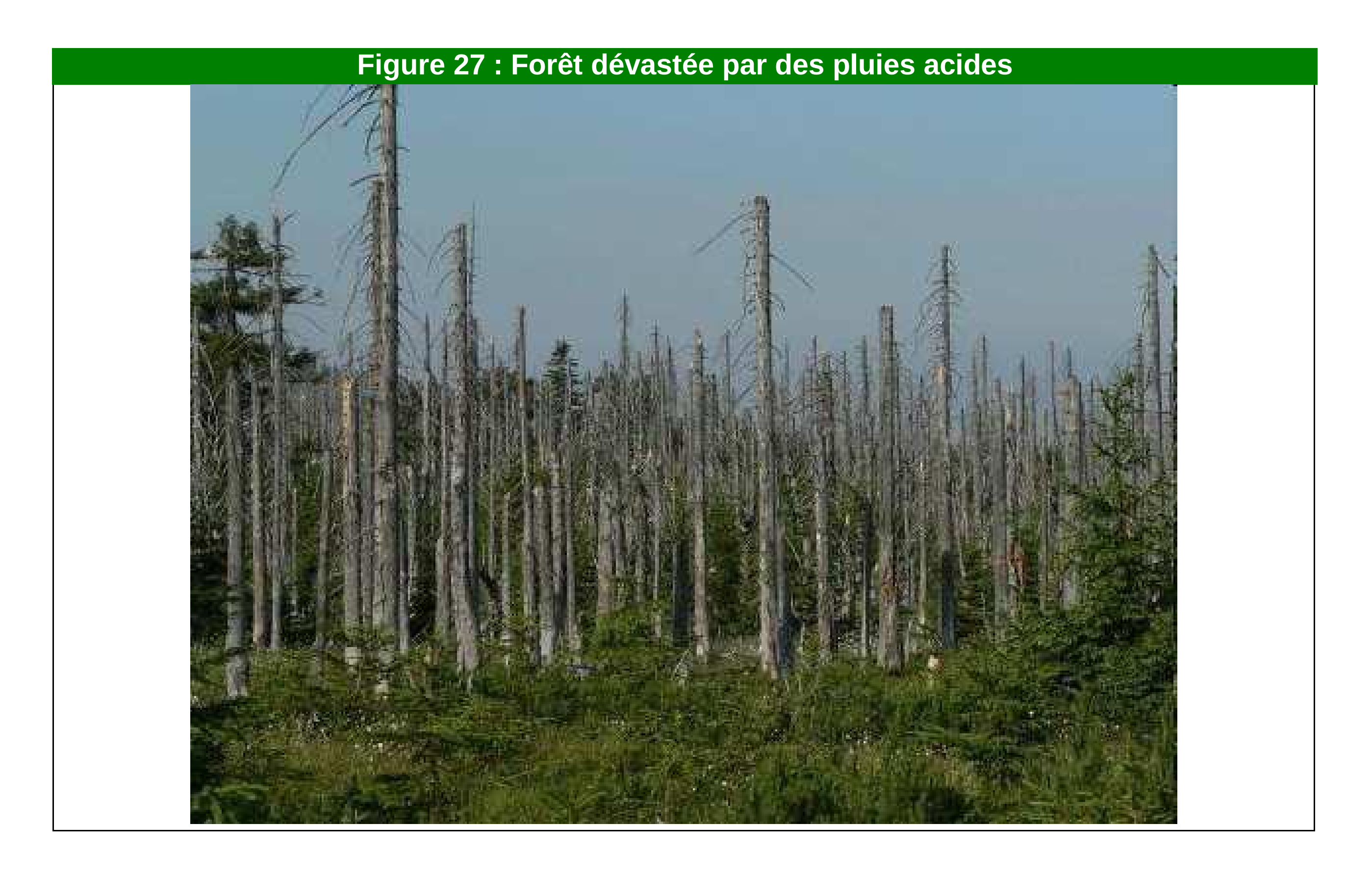
En bord de mer, cet apport de P et N va favoriser le développement des algues vertes (ulves) et rendre inutilisable certaines plages.

6.6.1.2 Acidification des milieux

Cause : production de molécules acidifiantes dans l'atmosphère (SO_2, NH_3, NOx)

Lien avec la machine : type d'épandage impactant sur le dégagement de NH_3, consommation de fuel par les machines agricoles, Résistance au roulement, poids machine / poids produit transporté, profondeur des enfouisseurs

Figure 27 : Forêt dévastée par des pluies acides



L'acidification est un phénomène lié aux retombées de 3 types de polluants : SO_2, NOx, NH_3. Ces molécules dans l'air se transforment après réactions chimiques (oxydation) en composés acides transportables sur de longues distances (H_2SO_4, HNO_3…) qui retombent au sol ou dans les milieux aquatiques.

6.6.1.3 Epuisement des ressources naturelles

Cause : utilisation de ressources naturelles non renouvelables (phosphore, minerais…)
Lien avec la machine : Composition de la machine (acier, verre…), consommation de carburant fossile…

Figure 28 : Mine à ciel ouvert en Australie

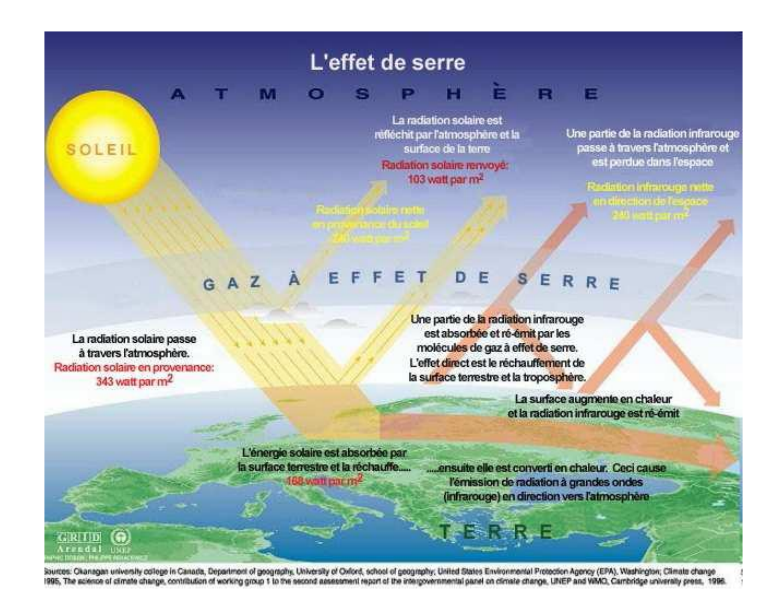


L'épuisement des ressources naturelles correspond à la perte d'éléments extraits du sous sol de la planète (mines puits) qui, quand ils ne sont pas recyclés, sont dispersés dans le milieu naturel et deviennent inutilisables. Le pétrole est une ressource non renouvelable (40 ans de réserve facilement mobilisable connue), tout comme le phosphore (100 ans de réserve connue)

Si pour certains produits indispensables à notre société les risques d'épuisements sont à des échéances relativement lointaines (Fer, Aluminium..) du fait des ressources importantes et de leur recyclabilité, d'autres produits risquent de manquer dans un avenir proche.

6.6.1.4 Réchauffement climatique (ou Effet de serre)

Cause : production de gaz à effet de serre (CO_2, N_2O, CH_4)
Lien avec la machine : consommation de fuel par les machines agricoles, Résistance au roulement, poids machine / poids produit transporté, profondeur des enfouisseurs



L'effet de serre est le phénomène qui explique le réchauffement climatique de la planète constaté depuis quelques années. L'« effet de serre » est un processus naturel dû aux gaz à effet de serre (GES) contenus dans l'atmosphère. La vapeur d'eau (55%) et le CO_2 (39%) sont les principaux gaz contribuant à cet effet de serre.

Le CO_2 est produit par toutes les oxydations du carbone (combustion du diesel dans les moteur des voitures et tracteurs, centrales électriques au charbon, cimenteries…). D'autres gaz dégagés en plus petite quantité peuvent avoir des effets très importants du fait d'une plus grande nocivité. C'est le cas du méthane (CH_4) qui est 23 fois plus impactant que le CO_2 (à une échéance de 100 ans) et le dioxyde d'azote (N_20) qui est 296 fois plus impactant que le CO_2 (à une échéance de 100 ans).

6.6.1.5 L'occupation des sols (« land use ») et leur changement d'affectation

L'occupation des sols par les activités humaines quelles soient agricoles, forestières, industrielles ou pour l'habitat et le transport peut conduire à des impacts environnementaux très important sur la biodiversité, sur la qualité du sol dans sa fonction de support de la vie ainsi que sur les ressources naturelles mobilisées. Une distinction est également réalisée entre l'occupation « intrinsèque » des sols le « land use » en anglais (usage et affectation) et la transformation des sols telle que par exemple la déforestation (changement dans la qualité d'usage).

En pratique, en ACV (pour plus de détail sur ces questions une publication de synthèse en anglais a été réalisée en 2007 dans le "International Journal of Life Cycle Assessment » (réf. : Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA, Llorenç Milà i Canals, Int J LCA 12 (1) 5 – 15 (2007)), l'occupation des sols et leurs changements d'affectations peut être pris en compte de différentes façons :

- « Directement » dans certains indicateurs (Eco-indicator, impact 2002+, …) au travers de la surface occupée en m² (« land use ») qui va entrainer un dommage potentiel sur la qualité des écosystèmes par perte d'habitat et diminution de la biodiversité. Cela revient à considérer qu'un hectare de terre est une ressource finie au même titre qu'un kilo de fer ou d'aluminium. En pratique, cette approche ne

considère en l'état actuel des outils disponibles et des pratiques que la surface occupée sans considération sur sa qualité avant, pendant et après usage (ces aspects peuvent être partiellement évalués dans les effets indirects).

- « Indirectement » sur les inventaires de substances émises tels que par exemple le déstockage du carbone dans le cas d'une déforestation ou les effets de la compaction des sols sur sa composition en matière organique et sur les émissions qui pourraient en résulter.

Précisons que de nombreux effets potentiels du changement d'affectation des sols tels que par exemple l'érosion des sols sont encore difficiles à évaluer directement avec les outils actuels d'ACV.

Recommandation spécifique au cas d'une ACV de l'épandage en agriculture : la prise en compte des rendements agricoles

1. Dans le cas d'une ACV où l'unité fonctionnelle correspond au service rendu agricole (i.e., tous les impacts potentiels sont ramenés par exemple au kg de céréale produite), les différences de productivité entres deux systèmes agricoles seront automatiquement mises en évidence.

2. Dans le cas de l'épandage de déchets par valorisation agricole, l'ACV adopte alors souvent une unité fonctionnelle du type « tonne de boues de STEP épandue ». Dans ce cas, certaines pratiques ou certains équipements peuvent avoir un effet significatif sur le rendement agricole :

   … sous dosage, tassement des sols entrainant une perte de rendement par sous fertilisation ou non implantation des cultures (pas de végétation dans les zones tassées (traces de roues…)

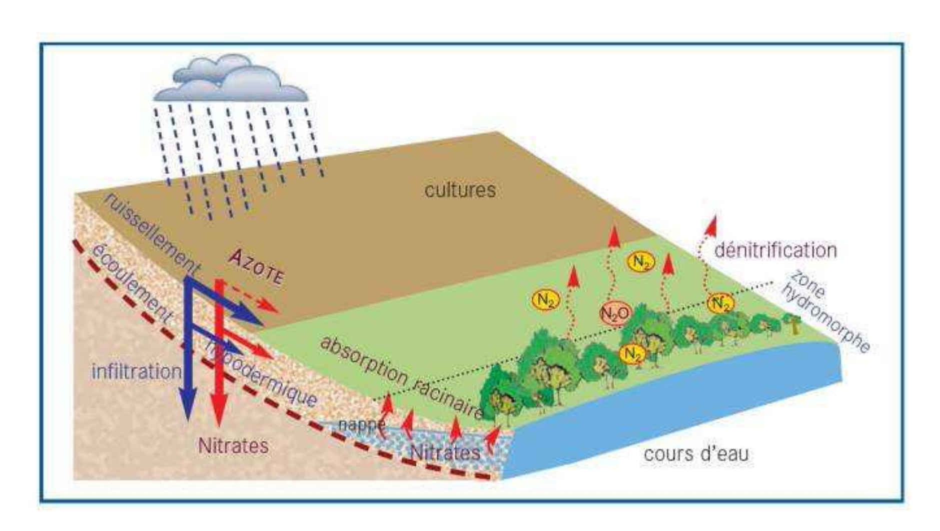
Dans ces situations (correspondant au projet Ecodefi), nous recommandons de prendre en compte les variations de rendement agricoles par une affectation de terres agricoles supplémentaires pour compenser les pertes de rendement (ceci suppose pour comparer différents scénarios de définir un rendement de référence). En pratique, cela se traduira par des m² de « land-use » supplémentaires pour le scénario entrainant les plus fortes pertes de rendement

Pour finir, précisons que dans tous les cas nous recommandons bien entendu de prendre en compte autant que possible les effets « indirects » dans les inventaires d'ACV (effets sur le bilan carbone des sols ou des ressources naturelles mobilisées et effets potentiels sur les émissions).

6.6.2 DESCRIPTION DES PRINCIPAUX RISQUES LIES A L'EPANDAGE

Les risques présentés ci-après sont classés en deux grands types de risques : ceux liés au cycle de l'azote et ceux liés à la dégradation des sols. Pour chaque catégorie, les risques sont interdépendants les uns des autres comme le lessivage et la volatilisation intervenant dans le cycle de l'azote dans un cas, ou encore l'orniérage et le tassement dans l'autre cas.

6.6.2.1 Les risques liés au cycle de l'azote



6.6.2.1.1 Lessivage des nitrates (NO_3^-)

Cause : surdosage en fertilisant (localisé ou sur l'ensemble de la parcelle)
Lien avec la machine : mauvaise réparation du fertilisant au sol
Indicateurs technologiques associés : dosage, répartition
Impact environnemental associé : Dégradation du milieu naturel par eutrophisation des zones aquatiques

Figure 29 : Exemple de mauvaise *répartition de lisier au sol*



Le surdosage d'un produit organique peut présenter des risques de lessivage vers le milieu naturel principalement du fait de l'azote en excès apporté par rapport aux besoins de la culture. Cet azote risque à l'automne /hiver d'être transféré par l'eau de pluie vers les nappes phréatiques et les rivières par lessivage voire ruissellement.

Le surdosage augmente aussi les risques de ruissellements et de dégagements gazeux. Une mauvaise répartition d'un produit apporté à bonne dose/ ha en moyenne sur la parcelle peut provoquer localement des pertes de rendement par sous fertilisation et des surdosages. Pour les autres éléments (P, K, ETM…), un surdosage modéré n'a pas de conséquences graves car ces éléments sont plus ou moins fixés dans le sol. Un surdosage répété d'un élément toxique (cuivre, plomb…) peut rendre inapte à la culture la parcelle voire stériliser le sol.

6.6.2.1.2 Dégagement d'ammoniac (NH_3)

Cause : épandage de produit riche en azote ammoniacal, surdosage en fertilisant, trajet machine-sol du fertilisant.
Lien avec la machine : type de technologie d'épandage ou d'enfouissement employée,
Indicateurs technologiques associés : projection
Impact environnemental associé : Perte de biodiversité par acidification et dégradation du milieu naturel par eutrophisation des zones aquatiques.

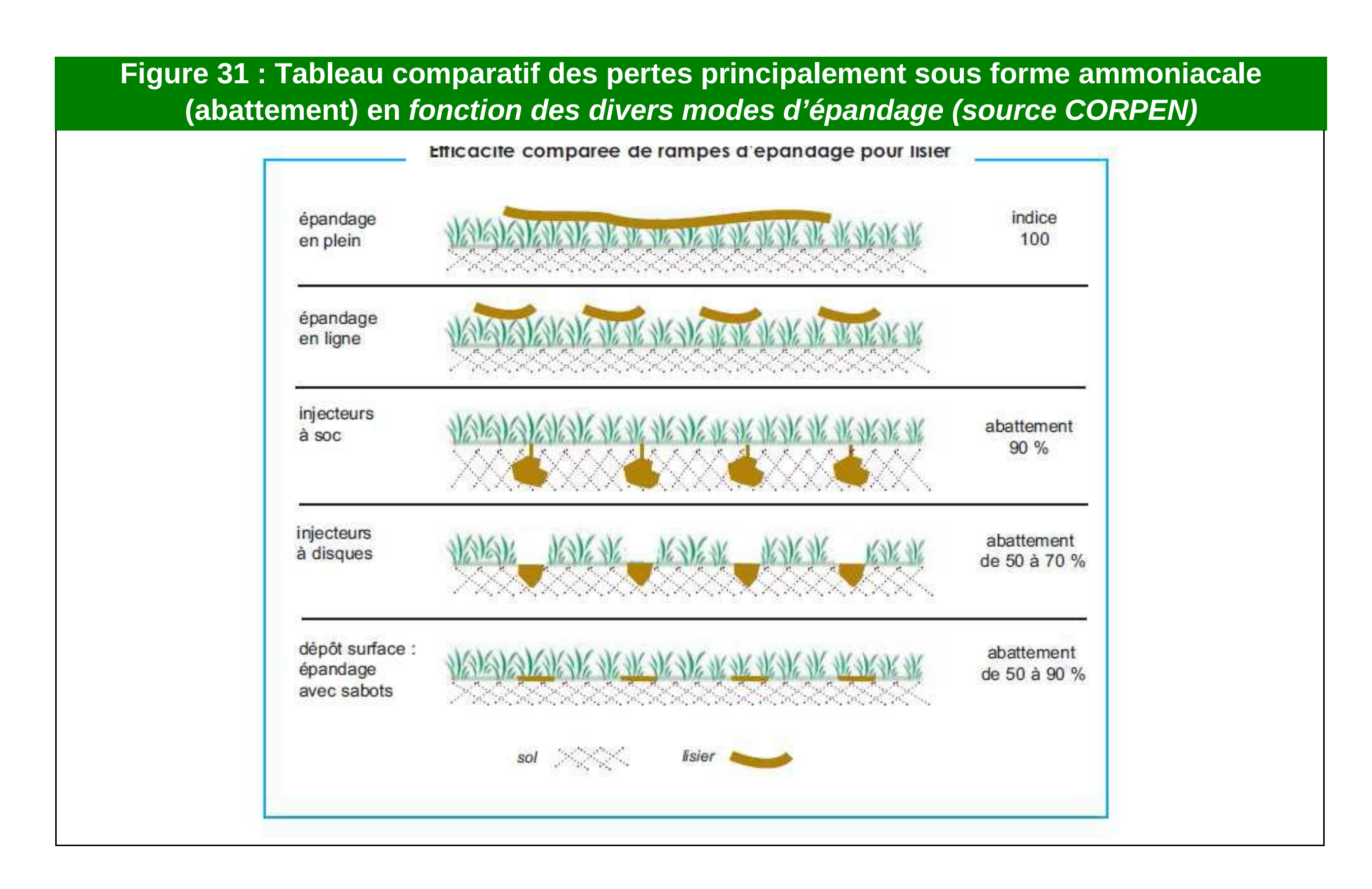
En plus d'une perte d'élément fertilisant coûteux en énergie lors de sa synthèse industrielle, l'ammoniac est à l'origine de phénomènes d'acidification du milieu. Sa présence dans l'atmosphère et ses retombées sous forme, entre autre, de pluie acide déséquilibre les écosystèmes en favorisant par exemple le développement de certaines plantes acidophiles (bruyère…) au détriment d'autres (sapins…).

Figure 30 : Projection de lisier générant une forte volatilisation d'ammoniac (source : JDLE)



Lors de l'épandage des produits riches en azote ammoniacal (lisier de porc, fientes et fumiers de volailles, certaines boues de station d'épuration), l'ammoniac a tendance à se volatiliser. Cette volatilisation aura lieu durant le trajet de la matière depuis la machine jusqu'au sol. Plus les gouttes seront fines plus le risque de volatilisation sera grand. Mais cette perte gazeuse se poursuivra également au sol si le produit n'est pas rapidement enfoui. Au total il peut y avoir plus de 50 % de perte d'ammoniac contenu dans le produit. L'ammoniac étant très hygroscopique, par temps de pluie ou de brouillard, il retombe immédiatement au sol et n'est donc pas volatilisé. Par contre, par temps sec, chaud et venteux, l'ammoniac est volatilisé et peut retomber au sol 100 à 500 km plus loin en fonction des précipitations et des vents dominants.

Figure 31 : Tableau comparatif des pertes principalement sous forme ammoniacale (abattement) en *fonction des divers modes d'épandage (source CORPEN)*



Certaines pratiques agricoles telles que l'enfouissement immédiatement après épandage ou l'incorporation dans le sol lors de l'épandage permettent d'éviter en grande partie ces pertes.

En effet, l'enfouissement présente l'intérêt de réduire les émissions d'ammoniac en comparaison des autres techniques d'épandage. Ces réductions peuvent varier entre 20% pour la technique d'enfouissement la moins efficace à 75% pour la technique d'enfouissement la plus efficace en comparaison des rampes à pendillards. La réduction de la volatilisation de l'ammoniac est corrélée à la profondeur d'enfouissement et à la quantité de produit enfoui. Ainsi, une profondeur d'enfouissement > à 5 cm permet d'enfouir la totalité du produit en permettant un abattement des émissions entre 40 et 79% selon la technique d'enfouissement employée.

En plus des réductions d'émissions d'ammoniac, l'enfouissement peut également présenter l'avantage de ne pas souiller les cultures, améliore la qualité du fourrage et n'a pas d'impact sur l'appétence des vaches dans le cas d'application sur prairies. L'enfouissement permet également d'éviter le ruissellement du produit si des précipitations se produisent après épandage. Toutefois, il a l'inconvénient d'accroître la demande en énergie nécessaire (entre 202 et 1358 N selon la technique employée et le type de sol pour une profondeur d'enfouissement de 5 cm) et d'éventuellement endommager les cultures.

<u>Quelle profondeur d'enfouissement optimum ? Point de vue d'agronomes</u>

Le présupposé de départ est que nous sommes dans le cas d'un apport d'un fertilisant principalement azoté connu et homogène permettant le calcul de la bonne dose.
Objectif : mettre le produit au niveau des racines actives de la culture.

Principes :

- en sol sableux : rester plutôt en surface (5 cm) car la probabilité pour que le produit descende dès la 1er pluie est élevée.
- en sol lourd (argileux), principalement au printemps et en climat méditerranéen, la profondeur conseillée sera plutôt de : 10/15 cm.
- plus la probabilité pour qu'un produit à incorporer ne soit pas descendu dans le profil par risque d'absence de pluie (exemple : apport tardif sur maïs déjà développé et non irrigué), plus la profondeur devra augmenter sans toutefois dépasser les 15 cm.

Si apport avant l'implantation de la culture (typiquement avant maïs).

S'il est prévu un travail du sol immédiatement après l'injection, l'incorporation et le mélange sol/fertilisant se fera par l'outil de travail. L'incorporation n'a d'intérêt que pour éviter des pertes et donc améliorer son effet azoté. Dans ce cas une profondeur de 5 cm suffit. Dans le cas des TCSL, il n'y a pas de travail du sol ou faible (3 cm). Une incorporation à 5 cm est recommandée en cas général. Elle peut être de 10/15 cm en sol lourd (argileux) et dans le cas où la pluviométrie prévue de la région ne permette pas de faire descendre le produit. L'incorporation, dans ce cas, devra se faire sans retourner le sol.

Si apport sur une culture en croissance (typiquement blé en fin d'hiver)

Dans le cas général, la profondeur d'incorporation conseillée sera de 5 cm car la probabilité que le produit descende est élevée. Pour optimiser l'efficacité du produit sans nuire à la culture, l'injection doit se réaliser entre rangs sans perturber les racines à raison d'une rangée de semis sur deux.

Si apport sur prairie.

Afin de limiter les risques de pertes d'appétence, de transfert de parasites et pour limiter les salissures, mais aussi pour mettre directement au contact le fertilisant avec les racines actives, une profondeur de 12/15 cm sera recherchée.

Si apport en verger.

En règle générale, la profondeur d'enfouissement recommandée sera de 10 cm. Cette profondeur pourra passer à 15 cm en sol plus lourd.

6.6.2.1.3 Dégagement de N_2O

Cause : richesse en N soluble du produit épandu, état de saturation en eau des sols recevant le produit, tassement des sols

Lien avec la machine : cf. tassement, cf. orniérage, répartition, dosage

Indicateurs technologiques associés : dosage, répartition, pression d'interface, charge à l'essieu

Impact environnemental associé : Réchauffement climatique dû à l'effet de serre.

Figure 32 : Dispositif de mesure mobile des émissions de N2O par utilisation de chambres statiques et outils d'analyse des prélèvements

(Photos : Sophie Carton, Bertrand Decoopman), source : Grignon Energie Positive http://www.agroparistech.fr/energiepositive/-Mesure-des-emissions-de-gaz-a-.htm)







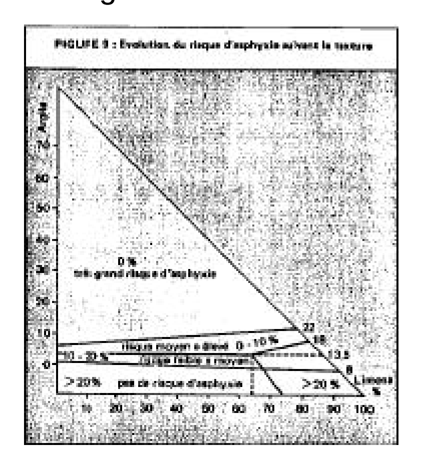


Le N_20 se forme dans les premiers cm du sol en cas de forte présence d'azote (minérale ou organique facilement minéralisable) plus ou moins saturé en eau, tassé et donc pauvre en oxygène. Le risque de dégagement de N_20 augmente donc avec la richesse en N soluble du produit apporté. Ce dégagement est aggravé au niveau des zones de faible porosité principalement sous le passage des roues.

Le N_2O est un gaz à effet de serre ayant un impact 296 fois plus fort que le CO2.
Pour limiter ces dégagements, il importe :

- D'éviter les forts apports d'N soluble (favoriser les fractionnements en fonction des besoins des cultures)
- D'attendre un bon état hydrique du sol avant épandage (teneur en eau : ressuyage + 1 à 2 jours)
- • D'éviter les tassements de surface

Les risques, par rapport aux sols, sont liés à leur capacité de ressuyage. La progression durisque se fait selon les textures : argile >> limon > sable



6.6.2.2 Les risques liés aux sols

6.6.2.2.1 Orniérage

Cause : Cause : trace laissée par les roues d'engins agricoles lors de leurs passages sur des parcelles agricoles, dont l'importance dépend du type de sol (texture) et son état hydrique.
Lien avec la machine : charge à l'essieu, type de pneumatique et pression de l'interface.
Indicateurs technologiques associés : pression de l'interface, forme de l'ornière, rapport : surface d'ornière/surface d'épandage.
Risques associés : tassement des sols, ruissellement, érosion

Impact environnemental associé : Perte de biodiversité, dégradation du milieu naturel par eutrophisation des zones aquatiques, épuisement des ressources naturelles non renouvelable à moyen terme par érosion.

Figure 34 : Exemple d'ornière sur prairies ***(www.agricole.net)***



Figure 33 : Exemple de formes d'ornière en sol forestier *(www.foretinfo.net)*

Type 1: faible dégradation
Absence de bourrelets latéraux
Profondeur de l'ornière toujours inférieure à 10 cm.
couche organique
sol supérieur
sol inférieur

Type 2: dégradation moyenne
Bourrelets latéraux partiels
Profondeur de l'ornière généralement inférieure à 10 cm
bourrelets localisés
couche organique
sol supérieur
sol inférieur

Type 3: forte dégradation
Bourrelets latéraux présents normalement part
Profondeur de l'ornière partout supérieure à 10 cm
bourrelets
couche organique
sol supérieur
sol inférieur

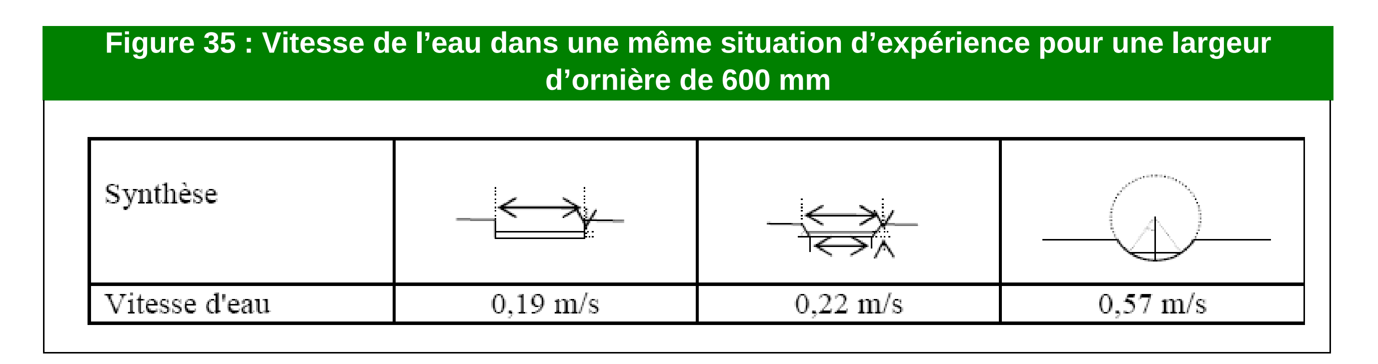
Figure 34 : Exemple d'ornières en viticulture (Centre vinicole Champagne – Nicolas



L'ornière est la trace laissée par les roues d'engins agricoles lors de leurs passages sur des parcelles agricoles. L'orniérage provoque des saignées dans les sols cultivés favorisant les écoulements d'eaux des précipitations (orage). La présence d'ornière peut aussi favoriser des ruissellements de liquide apporté (lisier, boue liquide) par une pluie et l'entraîner ainsi directement dans le milieu naturel. Cette eau en s'écoulant, selon sa vitesse (lien avec la pente ou (et) l'intensité des précipitations), peut ruisseler et arracher des éléments de terre en surface (érosion).

Les ornières les plus dangereuses sont celles qui ont une forme en v et qui sont profondes. Les moins dangereuses sont celles qui sont plates, les plus larges possibles et les moins profondes (action positive des pneus basse pression). Pour une même largeur d'ornière, la vitesse de l'eau peut varier du simple au triple en fonction de sa forme.

Figure 35 : Vitesse de l'eau dans une même situation d'expérience pour une largeur d'ornière de 600 mm



Synthèse			
Vitesse d'eau	0,19 m/s	0,22 m/s	0,57 m/s

L'ornière peut se produire de deux manières : soit avec la création d'un bourrelet de bordure, soit par tassement sans création de bourrelet. Le risque de création d'ornière est élevé en sol mal ou peu ressuyé. Il est faible à nul en sol sec. La teneur en eau du sol est le principal élément à prendre en compte pour apprécier le risque d'orniérage. Il importe d'attendre 1 à 2 jours après le stade : sol ressuyé.
Le risque est élevé en sol de sable ou (et) de limon. Les sols argileux sont plus résistants à l'orniérage mais comme ils se ressuient lentement, le risque d'intervention en sol mal ressuyé est élevé. La matière organique (surtout fraîche) joue un rôle d'amortisseur. Le risque est toujours plus grand en sol peu pourvu.
Si sol est couvert par une culture bien développée (prairie, CIPAN..), le risque de créer des ornières est plus faible car les racines « tiennent » la terre.

6.6.2.2.2 Tassement des sols en surface et en profondeur

Cause : passage d'engins agricoles lourds sur les parcelles agricoles, état hydrique des sols recevant le produit.
Lien avec la machine : poids des machines, surface de contact pneu/machine, charge à l'essieu
Indicateurs technologiques associés : tassement (variation de la densité apparente des sols). rapport : surface tassée / surface épandue.
Risques associés : orniérage, ruissellement, érosion, dégagement de N_2O,
Impact environnemental associé : Perte de biodiversité, dégradation du milieu naturel par eutrophisation des zones aquatiques, épuisement des ressources naturelles non renouvelable par érosion et réchauffement climatique dû à l'effet de serre.

Figure 36 : Tassement de surface liée aux ornières laissées par les machines
(Photo : P. HAVARD)



Le tassement des sols sous l'ornière (tassement de surface) est un facteur très important d'aggravation de l'érosion et du ruissellement car il imperméabilise le sol et limite sa pénétration par l'eau. Le tassement est par définition une diminution du volume des pores. Il est directement corrélé avec la densité du sol. Il peut impacter le sol jusqu'à 1 m de profondeur. Dans les ornières bien tassées au fond, s'il y a de la pente, l'eau s'y concentre, prend rapidement de la vitesse puis arrache les particules de terre.

Ce tassement qui impacte directement le rendement de la culture est aussi un facteur de risque important en lien avec le ruissellement et l'érosion durant les quelques mois après un épandage sur sol nu ou sur une culture peu développée. Dès que la culture couvre le sol, le risque diminue car l'écoulement de l'eau sera freiné.

Le tassement de surface est rattrapable par un passage de dents à 20 / 25 cm à la prochaine préparation de sol ou par l'équipement « d'effaceur de traces »

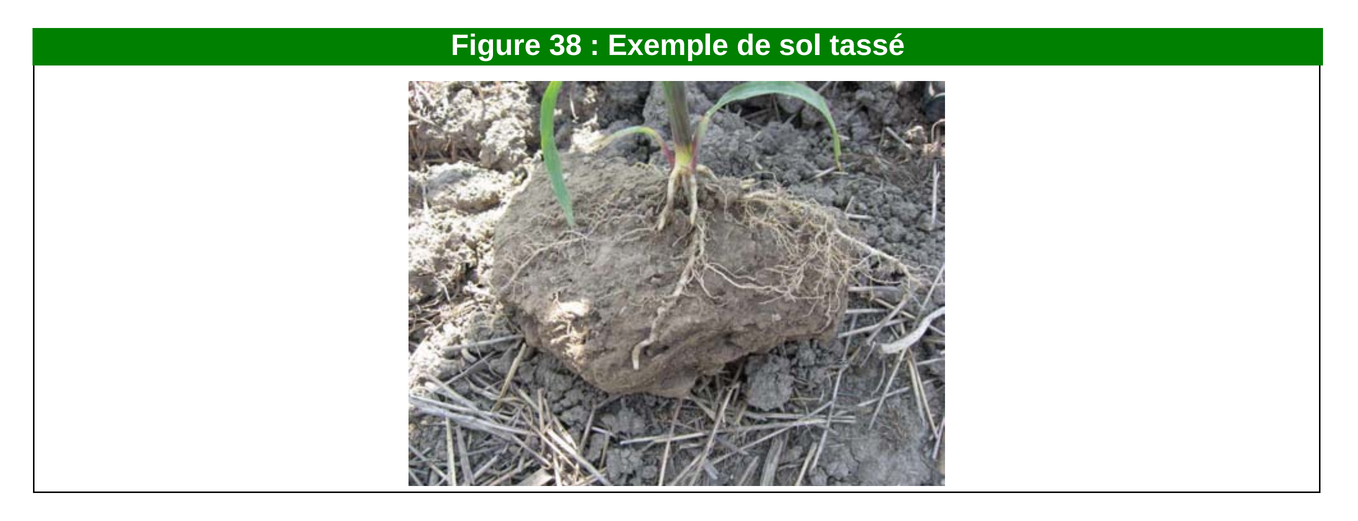
La teneur en eau du sol est le principal élément à prendre en compte pour apprécier le risque d'orniérage. Il importe d'attendre 1 à 2 jours après le stade : sol ressuyé.

La progression du risque se fait selon les textures : limon > sable > argile.

Figure 37 : Sol saturé en eau après tassement

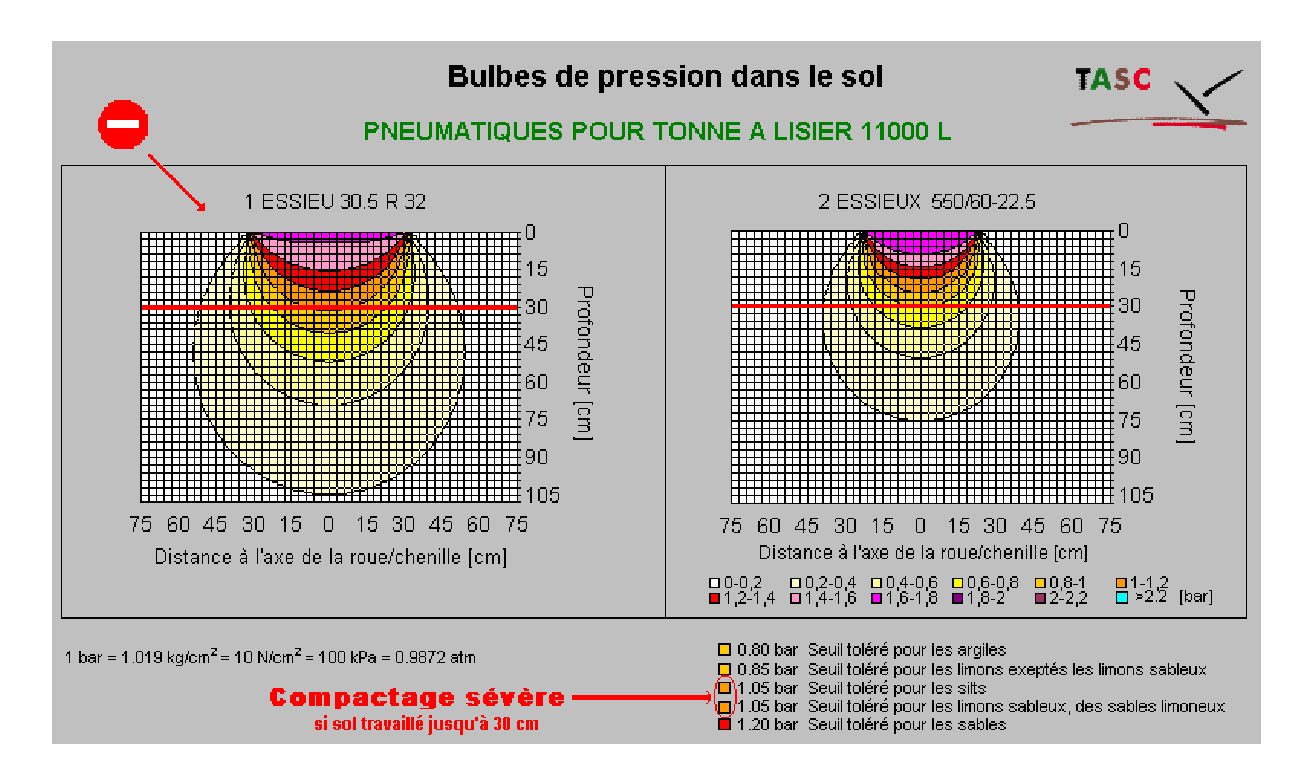


Figure 38 : Exemple de sol tassé



Le tassement en profondeur est généralement définitif et peu rattrapable par des outils de travail du sol car trop profond. Ces tassements forment une zone de forte densité à 40 / 70 cm qui limite l'enracinement, les remontées d'eau l'été (sensibilité à la sécheresse accrue). Ils freinent également le transit de l'eau l'hiver à travers le profil du sol ce qui favorise l'érosion et peut provoquer des hydromorphies de surface en hiver préjudiciables aux cultures. L'intensité des tassements de profondeur (de 30 à 80 cm) est proportionnelle à la charge à l'essieu

Attendre un bon état hydrique du sol avant épandage (teneur en eau : ressuyage + 1 à 2 jours).



6.6.2.3 Ruissellement

Causes : passage d'engins agricoles lourds sur les parcelles agricoles, état hydrique et type de sols recevant le produit, densité apparente des sols, nature liquide du produit, intensité des précipitations après l'apport.

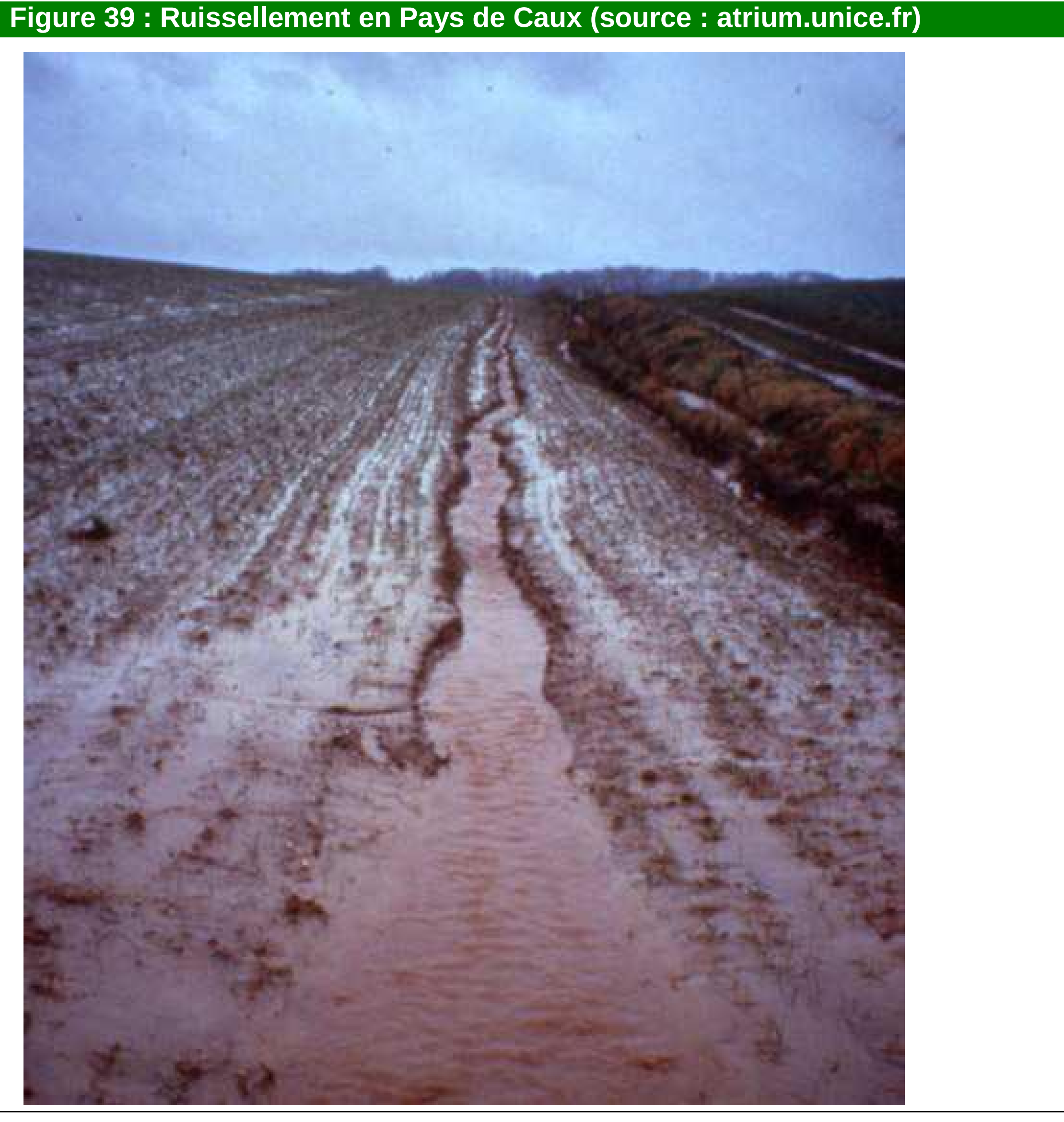
Lien avec la machine : Charge à l'essieu, pression de l'interface pneu/sol

Indicateurs technologiques associés : surface d'ornière/surface d'épandage, forme de l'ornière

Risques associés : orniérage, tassement en surface, érosion

Impact environnemental associé : perte de biodiversité, dégradation du milieu naturel par eutrophisation des zones aquatiques, épuisement des ressources naturelles non renouvelable par érosion.

Figure 39 : Ruissellement en Pays de Caux (source : atrium.unice.fr)



Le ruissellement est le cheminement de l'eau (ou du produit épandu entraîné par une pluie d'orage) en surface. Naturellement, l'eau va prendre des chemins préférentiels dans le sens de la pente. Plus un sol est rugueux (présence de mottes, de débris végétaux, végétation développée), plus la vitesse de l'eau sera freinée et plus le ruissellement sera limité.

La présence de ces gouttières va favoriser le ruissellement du produit épandu et le transfert vers le milieu naturel des pathogènes, phosphore, azote organique, ETM et CTO… contenus dans certaines boues voire déjections.

Ces chemins préférentiels seront les traces de roues si ces traces sont marquées (forme en V profonde), dans le sens de la pente et si le sol est tassé (imperméable) sous le passage de roue (effet gouttière).

La prise en compte des informations météorologiques est un élément important pour diminuer les risques de transfert par ruissellement d'un produit.

Travailler perpendiculairement (ou tout du moins avec un certain angle) à la pente diminue le facteur risque.

6.6.2.4 Erosion

Cause : passage d'engins agricoles lourds sur les parcelles agricoles, état hydrique et type de sols recevant le produit, densité apparente des sols, intensité des précipitations Lien avec la machine : poids des machines, surface de contact pneu/machine, charge à l'essieu Indicateurs technologiques associés : Charge à l'essieu, pression de l'interface, forme de l'ornière, surface tassée / surface épandue.

Risques associés : orniérage, tassement en surface, ruissellement

Impact environnemental associé : Perte de biodiversité, dégradation du milieu naturel par eutrophisation des zones aquatiques, épuisement des ressources naturelles non renouvelable par érosion.

Figure 40 : Erosion du sol (source : INRA)



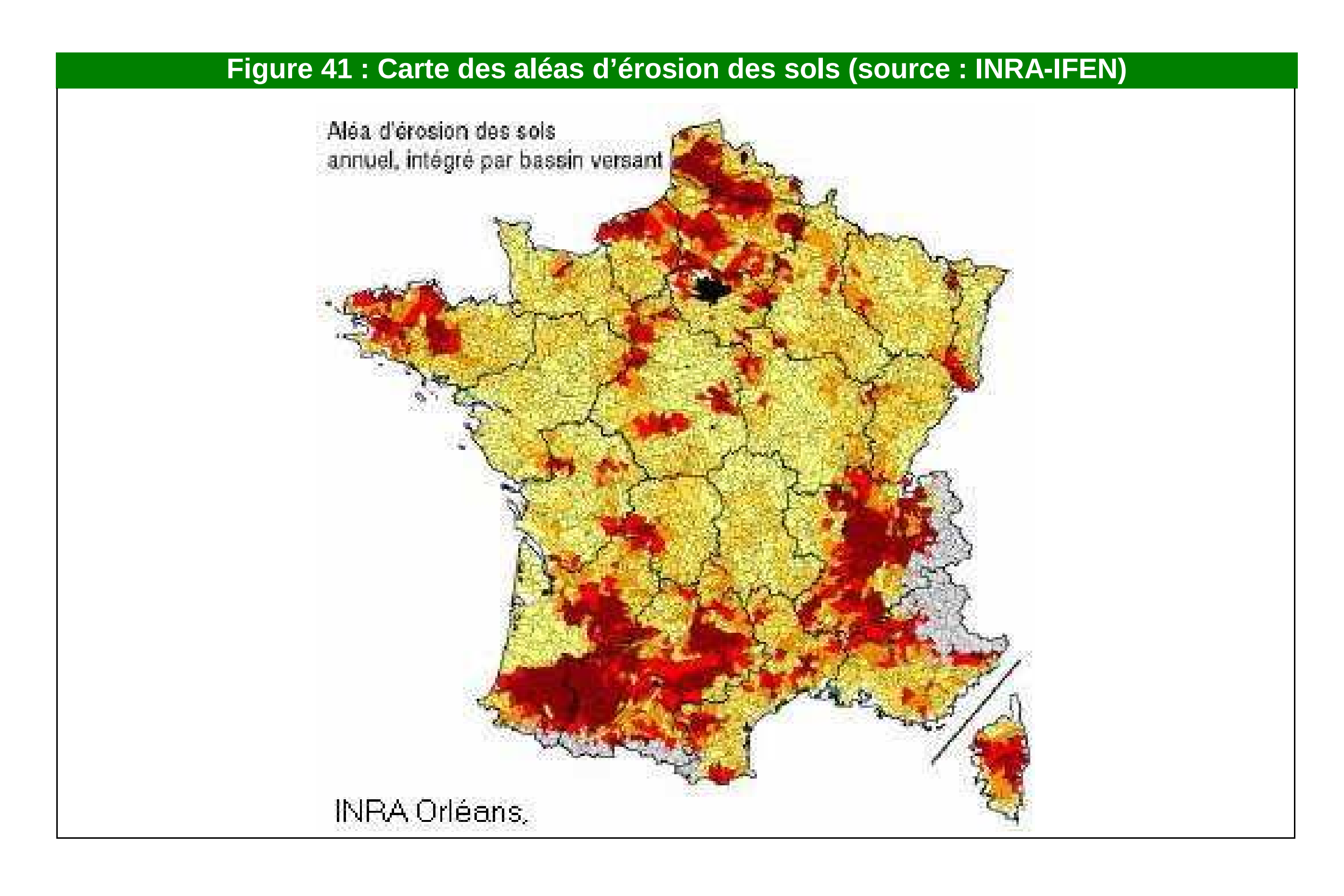
L’érosion est le phénomène d’arrachage des particules de terre généralement sous nos climats par l’eau de pluie (mais aussi parfois par le vent). Ces particules sont transportées par les rivières et se déposent dans les estuaires et les lacs. Les 20 premiers cm de sol sont les plus riches en éléments fertilisants et en matière organique. C’est essentiellement cette surface de sol qui est arrachée.

Par érosion, les sols perdent donc de leur fertilité. Ils peuvent devenir stériles si toute la couche arable a été décapée. L’érosion provoque donc la perte de cette ressource naturelle non renouvelable à l’échelle humaine qui est le sol agricole. Mais aussi cette érosion va disperser dans les milieux naturels et rendre inutile des éléments fertilisants indispensables aux cultures (phosphore, potassium..) dont les réserves mondiales sont elles aussi en cours d’épuisement.

En cas d’apport de boue contenant des métaux lourds (ETM) ou de composés traces organiques (CTO), ces produits plus ou moins fixés sur la MO du sol seront, par l’érosion, transférés au milieu naturel.

Plus il y a de pente, plus le risque est élevé. Plus il y a risque de précipitations intenses sur un sol nu plus le risque d’érosion est fort. La végétation en place (prairie) tient le sol. La progression du risque se fait selon les textures : Sable > limon > argile. La lutte contre l’érosion s’organise autour de l’aménagement de l’espace (création de haie et talus..). Le travail dans le sens de la pente va favoriser cette érosion. Si la pente est faible le travail perpendiculaire est à privilégier. Si la pente est trop forte pour travailler perpendiculairement à la pente, il importe de prendre un angle par rapport au sens de la pente le plus adapté au travail et le plus proche possible de la perpendiculaire

Figure 41 : Carte des aléas d’érosion des sols (source : INRA-IFEN)



6.7 ANNEXE 6 : INFORMATION CONCERNANT LE REGLEMENT REACH

6.7.1 Contexte

Le règlement n° 1907/2006 du 18 décembre 2006 concerne l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions applicables aux substances chimiques.

Il est entré en vigueur le 1er juin 2007 et les premières démarches sont à réaliser à partir du 1er juin 2008. L'objectif est l'enregistrement et le contrôle des substances disponibles sur le marché européen, afin d'améliorer la protection de la santé et de l'environnement.

6.7.2 Substances visées

Le point d'entrée est le caractère "extrêmement préoccupant des substances" en raison de leurs propriétés :

- Cancérogène, mutagène ou reprotoxique (CMR) catégorie 1 ou 2
- Persistante, bioaccumulable et toxique (PBT)
- très persistantes et très bioaccumulables (vPvB)
- de perturbateurs endocriniens (qui interfèrent avec le système hormonal).

Ces substances "extrêmement préoccupante" sont soumises à "autorisation"., c'est-à-dire qu'elles sont interdites sauf pour certaines utilisations qui devront faire l'objet d'une autorisation.

La liste des substances concernées par l'autorisation est publiée par l'Agence européenne des produits chimiques (http://echa.europa.eu/chem_data/autorisation_process/candidate_list_en.asp) et mise à jour régulièrement. Elle est incluse dans l'annexe XIV du règlement.

Liste des substances candidates à l'autorisation publiée sur le site de l'Agence le 28/10/08

Substance	EC Number	CAS Number	Reason for Inclusion
Triethyl arsenate	427-700-2	15606-95-8	Carcinogen, cat. 1
Diarsenic trioxide	215-481-4	1327-53-3	Carcinogen, cat.1
Benzyl butyl phthalate	201-622-7	85-68-7	Toxic for reproduction, cat. 2
Diarsenic pentaoxide	215-116-9	1303-28-2	Carcinogen, cat.1
Cobalt dichloride	231-589-4	7646-79-9	Carcinogen, cat. 2
Sodium dichromate	234-190-3	7789-12-0 10588-01-9	Carcinogen, cat. 2 Mutagen, cat. 2 Toxic for reproduction, cat. 2
Dibutyl phthalate	201-557-4	84-74-2	Toxic for reproduction, cat. 2
Lead hydrogen arsenate	232-064-2	7784-40-9	Carcinogen, cat. 1 Toxic for reproduction, cat. 1
Bis (2-ethyl(hexyl)phthalate) (DEHP)	204-211-0	117-81-7	Toxic for reproduction, cat.2
4,4'- Diaminodiphenylmethane	202-974-4	101-77-9	Carcinogen, cat. 2
Bis(tributyltin)oxide (TBTO)	200-268-0	56-35-9	Persistent, bioaccumulative and toxic
Alkanes, C10-13, chloro (Short Chain Chlorinated Paraffins, SCCP)	287-476-5	85535-84-8	Persistent, bioaccumulative and toxic Very persistent and very bioaccumulative
Anthracene	204-371-1	120-12-7	Persistent, bioaccumulative and toxic
Hexabromocyclododecane (HBCDD) and all major diastereoisomers identified (α-HBCDD, β-HBCDD, γ-HBCDD)	247-148-4 221-695-9	25637-99-4 3194-55-6 134237-51-7 134237-50-6 134237-52-8	Persistent, bioaccumulative and toxic
5-tert-butyl-2,4,6-trinitro-m-xylene (musk xylene)	201-329-4	81-15-2	Very persistent and very bioaccumulative

6.7.3 Qui est concerné ?

Toute substance fabriquée ou importée dans l'Union Européenne à plus d'une tonne par an doit être enregistrée par le fabricant ou l'importateur. Cet enregistrement doit permettre de définir les restrictions pour l'usage de la substance.

Les entreprises qui utilisent des substances soumises à autorisation doivent s'assurer que l'autorisation a bien été accordée à l'entreprise qui leur fournit la substance et doivent respecter les conditions d'utilisation.

Tous les articles (pièce, composant ou produit fini) sont également concernés par REACH.

Dès lors que la quantité de substance soumise à autorisation présente dans l'article dépasse 0,1% en poids, le fournisseur devra en informer son client.

6.7.4 Informations complémentaires ?

CETIM :

- Pôle PID – CETIM Senlis - 52, Avenue Félix-Louat BP 80067 - 60304 SENLIS Cedex - Tél. 03 44 67 33 86

Fédération des Industries Mécaniques :

- Pôle juridique, fiscal et Environnement - 39/41 rue Louis Blanc - 92400 Courbevoie - Tél. 01.47.17.60.00

6.8 ANNEXE 7 : SCENARIOS DE FIN DE VIE DES MATERIELS AGRICOLES

Les données suivantes sont issues d'une enquête réalisée en 2008 auprès d'opérateurs de traitement de produits.

6.8.1 Typologie des matériels agricoles

- Poids : plusieurs tonnes 2 à 20t,
- Matériaux majoritaires : Grosse mécaniques non broyable, multi matériaux,

  Exemples : chenille caoutchouc sur métal. Flexibles hydrauliques, thermodurs, carrosserie, climatisation, cuves en plastique d'épandeurs.

6.8.2 Réglementation de la fin de vie des matériels agricoles

Il existe deux types de filières de traitement de produits en fin de vie :

- l'une dépend de la réglementation (par exemple VHU ou DEEE professionnels avec une responsabilité sur les taux de valorisation à respecter),
- l'autre est hors du champ de la réglementation et dépend de la valeur sur le marché des matières secondaires des produits.

Par défaut, c'est la réglementation sur les déchets dangereux qui s'applique, à savoir que toute substance dangereuse contenue dans le produit doit être extraite en fin de vie et envoyée vers une filière appropriée..

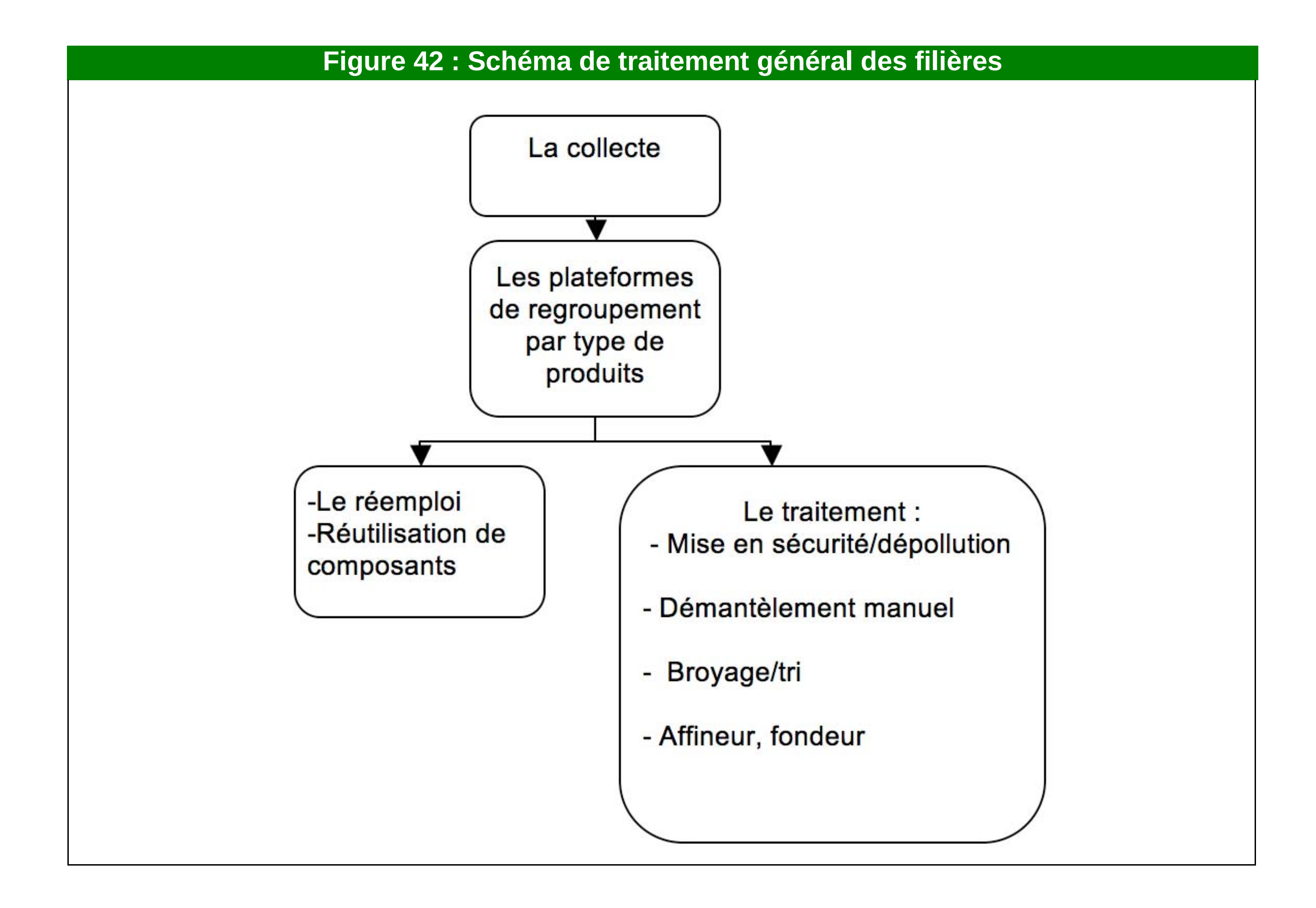
Les matériels agricoles restent à ce jour en dehors du champ des filières réglementées (DEEE et VHU), sauf pour la dépollution et mise en sécurité qui concernent les batteries, la climatisation (lorsqu'elle existe) et les huiles.

Cela signifie que le possesseur d'un matériel agricole arrivée en fin de vie doit est responsable de son traitement dans une filière adaptée. Il pourra pour cela faire appel à un prestataire.

6.8.3 Schéma général d'une filière de traitement

L'ensemble des filières de traitement des produits comprend des étapes communes :

Figure 42 : Schéma de traitement général des filières



6.8.4 Description du traitement des matériels agricoles

Selon leur taille, les matériels agricoles peuvent être orientés vers 2 types de prestations :

6.8.4.1 Prestations de découpe à la cisaille ou au chalumeau

Certaines filières traitent les gros engins par découpe à la cisaille ou Chalumeau sans broyage.

Les Phases de dépollution – démontage de composants comprennent :

- ☐ La vidange des huiles
- ☐ La vidange des fluides des systèmes hydrauliques (en enlevant le bouchon de vidange)
- ☐ La récupération du gasoil, pompé puis filtré afin d'être réutilisé sur le site.
- ☐ Le démontage des batteries qui vont vers la filière de traitement des batteries.
- ☐ Le démontage des câbles qui vont vers la filière câbles électriques.
- ☐ Le démontage des vitrages des engins qui vont vers la filière calcin chez « Briane » puis chez un verrier comme « PATE »

  - Les caoutchoucs des chenilles sont démontés ou découpés mais ne sont pas valorisés dans la filière pneus car ils sont trop sales et ils sont éliminés.

  - Les pneus ne sont pas démontés mais découpés avec une pince à cisaille puis broyés pour aller dans une filière de valorisation des pneus.

  - Les ferrailles et fontes sont découpées :

    - au chalumeau pour des épaisseurs supérieures à 15mm
    - à la pince cisaille montée sur une pelle pour les épaisseurs comprises entre 10 et 15 mm.
    - à la presse cisaille pour les épaisseurs inférieures à 10mm

  - Les aluminiums sont découpés au chalumeau. Puis ils sont conditionnés en cube de 40x40 avec une presse à métaux afin d'être envoyés en fonderie.

    Certains alliages d'aluminium sont triés, ils sont identifiés par rapport à leur provenance.

    Les carters de véhicules sont des pièces an aluminium moulé, les pièces d'avion sont en alliage AG4, celles des poids lourds sont en AG3 ou AG4 et celles des bateaux sont en AG4.

  - Les métaux blancs comme le zinc, le plomb, l'étain, ainsi que le cuivre sont triés visuellement. S'il y a un doute, ils sont identifiés avec un appareil portatif de spectrométrie en fluorescence X qui peut détecter toutes les nuances d'alliage sauf pour l'aluminium qui ne peut pas être détecté avec ce type d'appareil (un nouvel appareil portatif de détection permettant la reconnaissance des alliages d'aluminium vient d'être mis sur le marché).

♦ **Les tracteurs sont éclatés avec une pince à cisaille ce qui permet de récupérer séparément** :

- La fonte

- Les ferrailles après tri magnétique. La fonte n'est pas magnétique contrairement à la ferraille. Une partie de la fonte reste en impureté avec la ferraille mais un taux faible de fonte est accepté en mélange avec la ferraille par les fondeurs. Il y a environ 60% de fonte dans un tracteur.

- La terre est aussi séparée de la ferraille.

- Les alliages d'inox comme le 316 sont identifiés et triés manuellement par le détecteur portatif de spectrométrie en fluorescence X.

- Les composites thermodurs et thermoplastiques ne sont actuellement pas triés, ils vont en CET ou en incinération en cimenterie.

- Remarques :

  - ☐ Les engins usagés ont en moyenne une vingtaine d'années et ils contiennent un pourcentage faible de plastiques, de l'ordre de 2 %, qui ne sont pas valorisés. Les réservoirs par exemple sont tous en ferraille ou en aluminium.

  - ☐ Le coût de traitement est en général positif. Par exemple un tracteur de 3 tonnes contient environ 300kg de polluant et 2700kg de ferraille dont le cours début de 2009 est d'environ 0,06€/kg, le bénéfice est de 150€ pour la ferraille.

  - ☐ Sur ce type d'engin, le taux de valorisation est élevé car il n y a peu de plastiques. Les nouvelles conceptions d'engins de terrassement et agricoles et de machines outils ne sont pas encore traitées sur le marché du recyclage.

6.8.4.2 Prestations de « Dépollution, démantèlement et broyage »

Le broyage se fait par campagnes. Le coût est évalué à la tonne. L'indexation de la valeur se fait sur la matière vierge (c'est le cas par exemple de l'aluminium) et sur le coût du traitement post broyage pour récupérer les métaux ferreux et non ferreux.

Chaque type de produit fait l'objet d'une étude spécifique qui prend en compte l'importance du marché et s'il est national ou local car cela dépend de la proximité ou non du site de broyage.

Jusqu'à une épaisseur de 5mm les profilés peuvent passer au broyeur. Cela dépend également des broyeurs (les broyeurs "Kondirator" par exemple peuvent broyer des épaisseurs plus élevées). Au delà de 5 mm, on passe à la découpe au chalumeau (voir prestation découpe au chalumeau).

L'acceptation d'un produit dépend :

- de la quantité à traiter,
- de la valeur des matières,
- du coût de traitement,
- de la localisation du gisement par rapport à un site de traitement.

Tableau 9 : Coûts de prestation pour les métaux
(Source : Journal Recyclage et Récupération mai 2009)

Coûts de prestation pour les métaux	Coût
Broyage	60€/t
Cisaillage	25 à 35€/t
Pressage	25 à 35€/t
Découpage chalumeau	45 à 55€/t

Tableau 10 : Coûts de prestation pour les plastiques
(Source : Journal Recyclage et Récupération mai 2009)

Coûts de prestation pour les plastiques	Coût
Broyage	150€/t
Lavage séchage	152€/t
Micronisation	150€/t
Granulation	230€/t
Elimination du déchet ultime transport compris	117 à 167€/t selon les régions

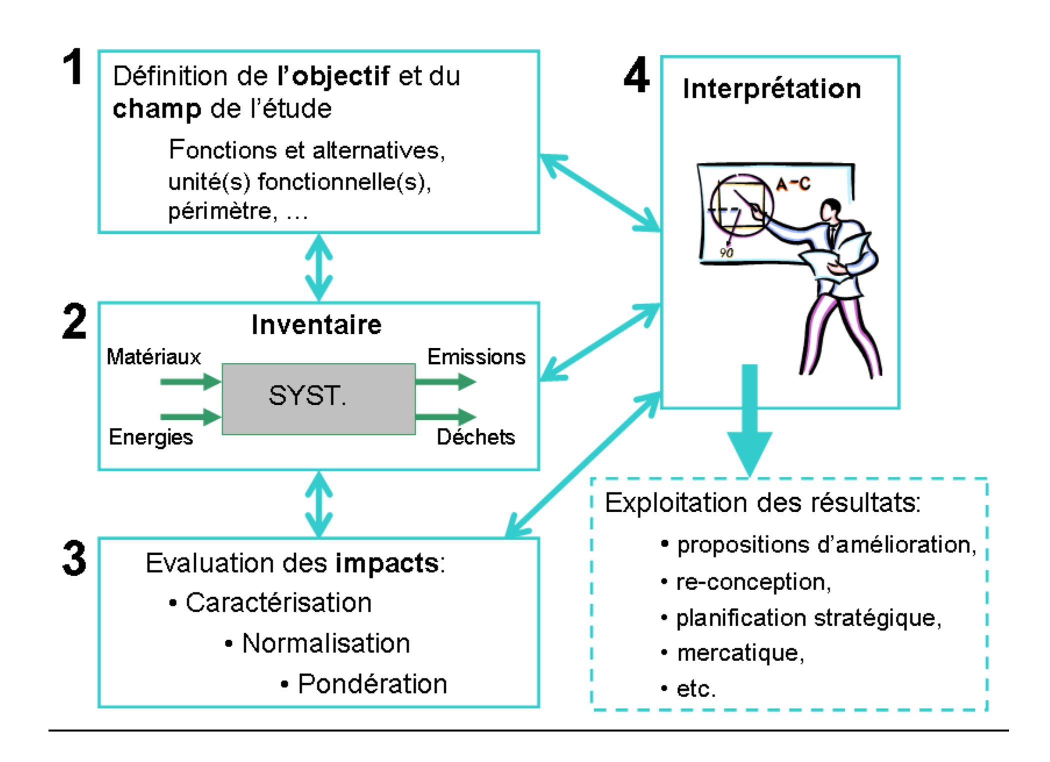
6.8.5 Synthèse des flux sortants

Etape Traite-ment	Composant/ substance Sortante	Destination	Freins à la valorisation du composant et voies d'améliorations	Remarques (technos utilisées, etc.)
Démontage dépollution	Batteries de démarrage	Affinage Filière batteries Métal Blanc, Métal Europe, Recylex		Lors des opérations préliminaires à l'affinage les fluides sont éliminés, le PP et le plomb sont recyclés
	Batteries Nickel/ Cadmium	Affinage Filière batteries		
	Gasoil	Réutilisation en interne		Non comptabilisé pour les VHU
	Huiles	Filière huiles : Véolia	Taux d'extraction non connu	En affinage : recyclabilté : 50% val. énerg. : 50%. Une partie de l'huile n'est pas extraite pendant la dépollution, le taux n'est pas connu
	Filtres à huile	?		Déchet dangereux
	Pneus	Filière pneus : Trigone ou CET	Présence de salissures	Les pneus de VHU ne sont pas démontés actuellement et les déchets vont en CET
	Câbles électriques : cuivre aluminium, plastique PVC ou polyéthylène réticulé.	Filière câbles MTB puis affineur	Seul le cuivre et l'aluminium sont recyclé. La gaine de câble n'est pas recyclable et pas incinérable car en mélange composé de PVC et PE réticulé	Une filière existe pour le recyclage des gaines PVC / Viniloop. Certains câbles de produits électroniques ayant un taux de cuivre faible ne sont pas recyclés.
	Thermoplastiques et composites, mousses,	Mis en CET ou usine d'incinération des DIB		

	caoutchoucs de chenilles			

Etape Traite-ment	Composant/ substance Sortante	Destination	Freins à la valorisation du composant et voies d'améliorations	Remarques (technos utilisées, etc.)
Démantèlement	Acier	Four électrique exportation	Principal problème = Cuivre dans l'acier, notamment avec l'arrivée des DEEE riche en Cu. Economie potentielle : la valeur du Cuivre, le gain à supprimer les trieurs qui assurent le tri manuel des ferro-cuivreux en sortie des broyeurs. Des niches potentielles en croissance pour des ferrailles de meilleurs qualités avec une valeur supérieure (demande des aciéries de plus en plus perceptibles, mais pas d'offre) Par contre, la démarche actuelle pour l'identification des morceaux est la Fluo X (2me génération de machine arrive)	
	Aluminium conditionné en cube	Fondeur (Derichbourg, AFIMET) , exportation	Principal problème : la séparation de 2 catégories, les mélanges alu de fonderie (carters), et les mélanges d'alu corroyées. A ce jour pas de problème avec les indésirables Cu et Fe en impureté (apparemment d'autres techniques existent pour les trier)	
	Caoutchouc chenille, (bi-composant)	Mis en CET		
	Cuivre	Fondeur	le tri actuel suffit pour le recycleur (dans l'état actuel des connaissances)	
	Autres métaux	Fondeur		
	Verre	Filière calcin (Briane environnement)	Le verre : les vitro céramiques restent un problème pour les recycleurs de verre même les plus performants. Les machines de tri commencent à arriver (transmission X, fluo UV) mais ne donnent pas encore satisfaction (pas assez efficace, trop cher)	

6.9 ANNEXE 8 : LES ETAPES DE L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE



<u>Etape 1 – Définition de l'objectif et du champ de l'étude :</u>

Dans cette partie, il faut fixer clairement les objectifs de l'étude. Ces derniers consistent à expliquer la problématique (raisons qui ont conduit à cette étude), les applications envisagées (usage interne ou externe, finalité technique ou marketing, réponse à une demande de la part d'un client ou de la réglementation, éco-conception ou re-conception d'un produit, élaboration d'un règlement (écolabel), préparation d'une décision publique) et les destinataires de l'étude (public concerné).

Au cours de cette étape, il faut également définir le champ de l'étude. Cela consiste à définir les frontières du système à étudier et l'unité fonctionnelle (basée sur les fonctions du système étudié) qui en découle. Cette étape nécessite également de connaître les catégories de données à étudier et la qualité de ces dernières. Il est nécessaire au cours de cette étape d'expliquer les hypothèses retenues au cours de l'étude, leurs limites et d'en faire une revue critique.

<u>Etape 2 – Réalisation de l'inventaire</u>

Cette phase de l'ACV est une comptabilité analytique des flux de matière et d'énergie aux frontières d'un système donné. Deux types de flux sont distingués : les flux directs, liés aux étapes du système directement étudié et les flux indirects, liés à la prise en compte des filières connexes au système étudié (flux liés à la production d'électricité consommée, au transport, au traitement des déchets...).

Les flux sont décrits autant que possible sous forme de flux élémentaires. Selon la définition de la norme AFNOR 14040, le flux élémentaire est la matière ou l'énergie entrant dans le

système étudié, qui a été puisée dans l'environnement sans transformation humaine préalable, ou la matière ou énergie sortant du système étudié, qui est rejetée dans l'environnement sans transformation humaine ultérieure (AFNOR, 2006).

Etape 3 – Evaluation des impacts

Un inventaire peut comporter des centaines de flux, ce qui en fait un document très austère et difficilement exploitable. Le but de cette troisième étape consiste à expliciter et interpréter les résultats et chiffres obtenus au cours de cet inventaire, en termes d'impacts sur l'environnement, sous une forme suffisamment synthétique pour être compréhensible par un non-spécialiste. Ainsi, les flux de l'inventaire sont traduits en un nombre d'indicateurs d'impacts potentiels quantifiant la contribution potentielle du système à des grands problèmes environnementaux. Les impacts potentiels couramment utilisés sont l'effet de serre, la destruction de la couche d'ozone stratosphérique, l'épuisement des ressources naturelles, l'acidification atmosphérique, la formation d'oxydants photochimiques, l'eutrophisation des eaux, la toxicité et l'écotoxicité. Leur portée peut être globale, régionale ou locale. Le calcul d'un impact se fait à partir d'un groupe de flux particuliers (CO_2, CFC, CH_4 entre autres pour l'effet de serre), dont les valeurs sont pondérées et agrégées pour donner une seule valeur finale appelée indicateur d'impact (toujours pour l'effet de serre, la valeur sera exprimée en gramme équivalent CO_2). L'intérêt de cette phase est de faire ressortir de l'étude les grandes lignes directrices et les chiffres clés concernant le système étudié, c'est-à-dire de préparer la communication des éléments relatifs à l'impact environnemental du produit. Ce n'est en aucun cas une évaluation quantitative des conséquences environnementales liées à un impact.

Etape 4 – Interprétation

Cette dernière phase a essentiellement pour but d'analyser les informations obtenues dans les étapes précédentes et de proposer un élargissement des résultats : elle doit constituer une sorte de prise de recul. L'interprétation consiste par exemple à analyser la pertinence des données recueillies, ou celle des hypothèses retenues sur les frontières du système, à mettre en lumière les étapes du système les plus polluantes par exemple (afin d'émettre à terme des propositions visant à réduire l'impact environnemental global du système). Des analyses de sensibilité peuvent être réalisées afin d'évaluer l'influence de certains choix et de paramètres clés sur les résultats. De même, des analyses d'incertitude permettent de rechercher puis de quantifier l'incertitude introduite dans les résultats d'un inventaire de cycle de vie par les effets cumulés de l'incertitude sur les entrants et de la variabilité des données. D'un point de vue général, l'interprétation permet de connaître les points faibles et les points forts de l'étude ACV réalisée.

6.10 ANNEXE 9 : HYPOTHESE DES ACV DU PROJET ECODEFI

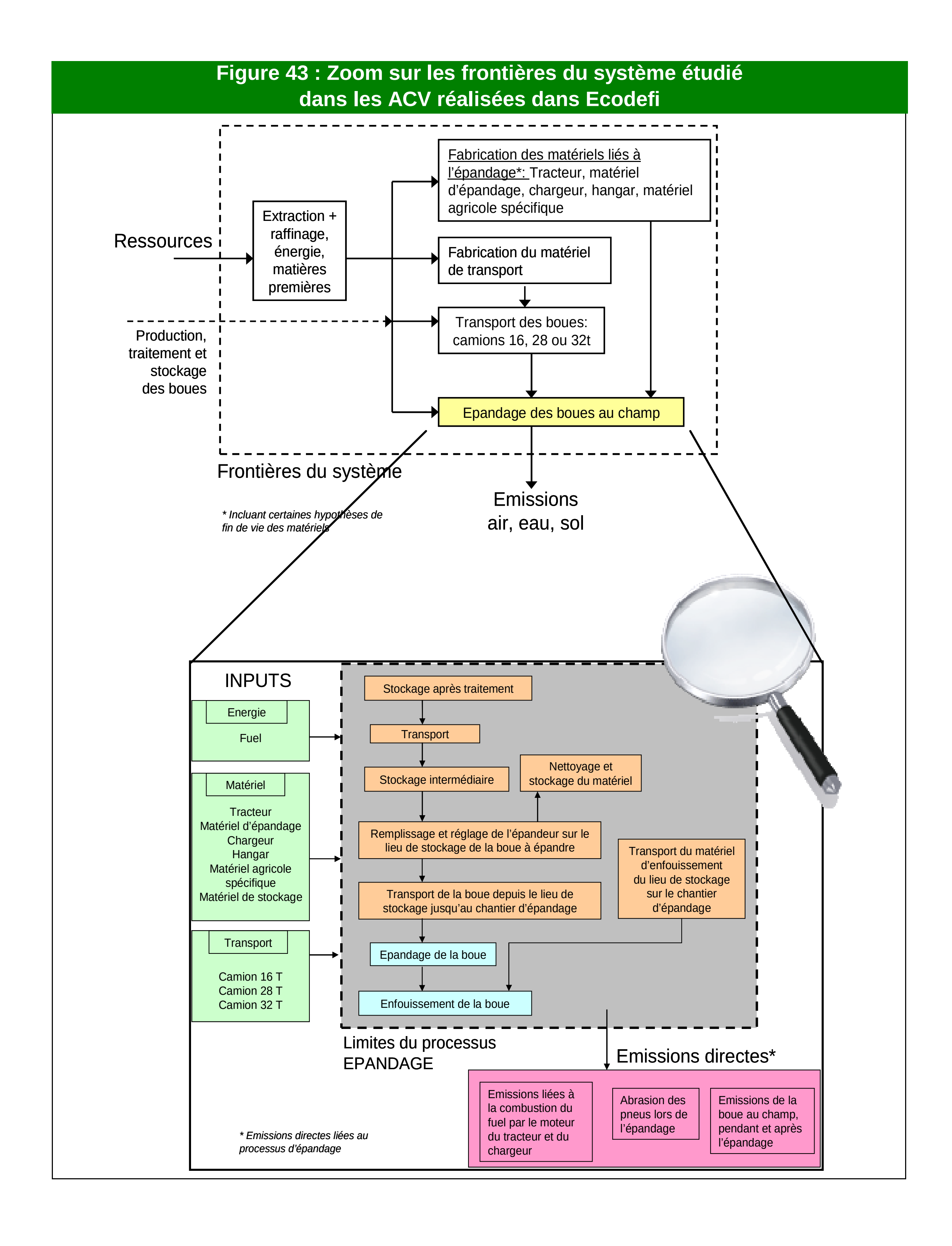
Le système étudié :

Lors de la réalisation des ACV dans le cadre du projet Ecodefi, nous avons considéré le système présenté en figure 1 en considérant le produit à épandre en sortie de station, la logistique pour l'amener au chantier d'épandage et son épandage. Nous avons exclu tous les procédés de conditionnement et de préparation de la boue (séchage, chaulage…) ainsi que les charges environnementales pouvant être affectées à la boue épandue. Les émissions de la boue lors du stockage ne sont également pas prises en compte.

Le système étudié se focalise plus particulièrement sur la machine dans la phase d'exploitation au champ et dans la phase logistique. La phase d'exploitation au champ (cases bleues) comprend l'épandage dans les champs et l'enfouissement éventuel de la boue. La phase logistique de l'épandage (cases oranges) comprend le transport du produit à épandre, le stockage de la boue, le transport du matériel sur le chantier d'épandage, le remplissage de l'épandeur à l'aide d'un chargeur, le réglage de l'épandeur, le déplacement entre le lieu de stockage de la boue et le chantier d'épandage, le retour au lieu de stockage, le nettoyage.

Nous n'avons pas tenu compte dans la réalisation des ACV des **éléments trace métalliques** contenus dans les boues. Il est apparu que ces émissions étaient majoritaires, cachaient l'effet "machine" que nous voulions étudier et n'avaient pas d'influence directe sur cet effet, les éléments trace métalliques étant déjà contenus dans la boue au moment de l'épandage. Ce même raisonnement peut également être tenu pour les composés trace organiques.

Figure 43 : Zoom sur les frontières du système étudié dans les ACV réalisées dans Ecodefi



Les hypothèses émises pour la réalisation des ACV :

Les hypothèses suivantes ont été émises lors de la réalisation des ACV pour la gestion des allocations, la logistique du chantier d'épandage et le transport des boues et du matériel.

Les hypothèses relatives aux allocations :

Dans le cadre des ACV réalisées dans le projet Ecodefi, nous avons fait l'hypothèse que le matériel d'épandage utilisé a été modélisé avec des données issues du terrain. Il comprend la fabrication et la maintenance nécessaires à ce matériel ainsi que l'espace nécessaire pour le stocker. L'utilisation du matériel agricole est comptée en heure d'utilisation pour l'ensemble de sa durée de vie. Nous avons donc ramené la masse du matériel à l'heure d'utilisation.

Nous avons alloué à la partie épandage et logistique le nombre d'heure que le matériel passe dans chacune de ses phases pour différencier le travail au champ (phase d'épandage) et hors champ (phase de transport, chargement…). Cette distinction est également valable pour les consommations de carburant liées au matériel du fait qu'un travail aux champs nécessite plus d'énergie qu'un trajet sur route.

Logistique du chantier d'épandage :

Le temps de chargement des camions assurant la logistique n'a pas été pris en compte car nous avons considéré que le chantier se déroule dans des conditions optimum sans rupture de la chaîne logistique. Lors des chantiers qui se déroulent sur plusieurs jours, nous n'avons considéré qu'un seul voyage pour le transport du matériel nécessaire à l'épandage. Nous avons fait l'hypothèse que le matériel restait sur le chantier le soir. Les chantiers respectent tous le plan d'épandage élaboré. Nous avons considéré qu'à chaque chargement, le chauffeur du tracteur laisse son tracteur en marche et va utiliser le chargeur pour remplir son épandeur.

Transport des boues et du matériel :

Le transport de la boue sur le lieu de stockage avant épandage s'effectue par camion dans notre cas. Nous prenons en compte aussi le transport du matériel, à savoir le chargeur par camion porte-char ainsi que le voyage pour amener l'épandeur sur le chantier d'épandage. Celui-ci se réalise par la route d'une manière directe. La logistique exclut les transports intermédiaires du personnel ainsi que les déplacements entre les parcelles. Nous y retrouverons aussi toutes les consommations de carburant liées à l'utilisation du chargeur, du tracteur et de son épandeur lors du chargement et des temps morts. L'hypothèse choisie est que le chauffeur du tracteur s'occupe aussi du chargement de son équipement. Le chargement du camion dans la STEP n'est pas pris en compte dans cette étude.